

Вінницький національний технічний університет
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

КУЗЬМІНА НАТАЛЯ ФЕДОРІВНА

УДК 004.9+519.7

ДИСЕРТАЦІЯ

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ ГРУПОВИХ
РІШЕНЬ У РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ**

05.13.06 – інформаційні технології

Технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

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

_____ Н. Ф. Кузьміна

Науковий керівник Кветний Роман Наумович
доктор технічних наук, професор,
член-кореспондент НАПН України

Вінниця – 2020

АНОТАЦІЯ

Кузьміна Н.Ф. Інформаційна технологія підтримки прийняття групових рішень у розподілених системах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології» – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2020.

Дисертаційна робота присвячена підвищенні ефективності розподілених систем підтримки прийняття групових рішень. Це досягається за рахунок використання відповідної інформаційної технології. Дана інформаційна технологія використовує аналітичний апарат баєсових мереж.

Об'єктом дослідження є процес прийняття групових рішень у розподілених системах підтримки прийняття групових рішень. Загальний науковий результат роботи – вирішення актуальної науково-практичної задачі підвищення ефективності розподілених систем підтримки прийняття групових рішень, що досягається за допомогою використання запропонованої інформаційної технології, що базується на баєсових мережах.

У першому розділі дисертаційного дослідження здійснено аналіз сучасних систем підтримки прийняття групових рішень в умовах невизначеності. Виконано порівняльний аналіз принципів групового вибору альтернатив у системах підтримки прийняття рішень, а також проведено аналіз методів прийняття групових рішень.

Проведено огляд методів обчислення баєсових мереж, який дозволив виділити точні та наближені методи та визначити переваги та недоліки їх застосування. У результаті проведеного огляду було встановлено, що кожен метод дозволяє обчислити лише обмежений діапазон структури баєсової мережі, що значно обмежує можливості застосування таких методів на практиці та породжує

необхідність детального дослідження та модифікації методів обчислення баєсових мереж.

Проведено детальний аналіз методів кластеризації для розрахунку баєсових мереж. Встановлено, що системи підтримки прийняття рішень, що базуються на баєсових мережах допускають пряму та логічну інтерпретацію структури відношень між змінними задачі, що значно спрощує розуміння процесу прийняття рішень. На додаток системи, що базуються на баєсових мережах, дозволяють користувачам не лише приймати рішення, а й паралельно здійснювати навчання, тестування та оцінку знань користувачів.

Встановлено, що одним з найбільш ефективних інструментів, що використовуються для системи підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності є методи, що базуються на баєсових мережах, тому баєсові мережі взяті за основу для розробки інформаційної моделі та технології системи підтримки прийняття групових рішень.

Обґрунтовано актуальність наукової та практичної задачі розробки інформаційної технології підтримки прийняття групових рішень у розподілених системах, що базується на аналітичному апараті баєсових мереж та визначено загальні задачі дослідження.

У другому розділі ідентифіковано та формалізовано компоненти процесу прийняття групових рішень у розподілених системах.

Визначено, що процес підтримки прийняття групових рішень містить велику кількість елементів, які необхідно врахувати при розробці систем підтримки прийняття групових рішень, особливо, якщо ці системи дозволяють з'єднувати користувачів, що територіально розподілені.

Запропоновано комплексну інформаційну модель розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень, яку можна подати у вигляді наступного кортежу: $M_s = \{A_0, C, Z, U, V, A, L, T_g, M, D_g, H, \Psi\}$ де A_0 – головна мета роботи розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень – оптимального

рішення у конкретний момент часу; C – множина мережі комп'ютерів користувачів; Z – кількість активних з'єднань; U – множина користувачів; V – варіанти методу групового вибору користувачів; A – доступні альтернативи; L – множина причинно-наслідкових зв'язків між альтернативами; T_g – загальний час роботи системи у процесі прийняття комплексного рішення, M – кількість ітерацій прийняття рішень для прийняття кінцевого комплексного рішення; D_g – комплексне рішення користувачів, що являє собою множину усіх прийнятих рішень за час T_g . H – оператор моделювання, який характеризує відношення множини альтернатив до множини зв'язків. Оператор оцінки показника ефективності Ψ співвідносить множину вихідних характеристик моделі D_g до множини значень коефіцієнта відповідності обраних альтернатив прийнятому рішенню системи.

Вхідними параметрами для інформаційної моделі є множина мережі комп'ютерів користувачів, кількість активних з'єднань, множина користувачів, варіанти методу групового вибору користувачів, множина доступних альтернатив, множина причинно-наслідкових зв'язків між альтернативами, час прийняття рішень користувачами, час затримки відповіді системи на дії користувача, час реалізації групового вибору користувачів у процесі прийняття рішення та загальний час роботи системи у процесі прийняття комплексного рішення. Вихідним параметром моделі є комплексне рішення користувачів, що являє собою множину усіх прийнятих рішень.

Серед вхідних параметрів системи особливо варто відмітити Z – кількість активних з'єднань, оскільки Z не завжди буде дорівнювати U – множині мережі користувачів та C – множині мережі комп'ютерів користувачів. Дана особливість пояснюється тим, що на одному комп'ютері користувача може одночасно виконуватись декілька копій програми клієнта, тому існує можливість використання одного комп'ютера для підтримки прийняття групових рішень

декількох користувачів. Дана властивість дозволяє розширити сферу застосування системи у випадку обмежених апаратних засобів, оскільки особисті переваги користувачів будуть враховані системою навіть у випадку одночасного використання одного і того ж комп'ютера.

Визначено загальні принципи побудови баєсової мережі та перерахунку ймовірностей у баєсових мережах. Обґрунтовано використання алгоритму зв'язного дерева. Визначено галузі використання баєсових мереж та основні принципи підтримки спільної роботи користувачів, що територіально розподілені.

У третьому розділі дисертаційного дослідження розроблено інформаційну технологію забезпечення функціонування розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень.

Розроблено загальні принципи роботи та компоненти розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень та наведено алгоритм та схеми алгоритмів роботи такої системи з реалізацією різних режимів. Розроблена інформаційна технологія забезпечує функціонування двох режимів роботи групового вибору: за методом більшості та з використанням баєсової мережі, що дозволяє порівняти ефективність прийнятих рішень та кількість конфліктних ситуацій, які виникають у процесі прийняття рішень.

Здійснено розробку інтерфейсних елементів режимів роботи інтерактивної системи групового вибору та визначено основні модулі для взаємодії користувачів.

Розроблена реалізація засобів подання інформативних даних забезпечує можливість детального аналізу характеристик об'єкту дослідження. Сформульовано розроблені модулі інформаційної технології та їх взаємозв'язок для взаємодії користувачів у розподіленій системі підтримки прийняття групових рішень. Детально описано розроблені програмні об'єкти забезпечення функціонування системи.

У четвертому розділі дисертаційного дослідження наведено розроблену

програмну реалізацію методів підтримки прийняття групових рішень. Розроблено та програмно реалізовано інтерфейсні елементи локальної та розподіленої систем підтримки прийняття групових рішень та описано послідовність дій при роботі з системою. Розроблене програмне забезпечення розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень дозволяє з'єднувати територіально розподілених користувачів за допомогою використання архітектури "клієнт-сервер" та забезпечує підтримку обміну даними між користувачами системи за допомогою технології Windows Communication Foundation.

Дані отримані в результаті роботи системи можуть бути використані для проведення комплексного оцінювання кожного користувача особисто та усіх користувачів разом. Реалізовано метод медіани Кемені для інтегрального оцінювання дій групового вибору, який дозволяє безпосередньо будувати узагальнений вибір користувачів на основі вибору кожного окремого користувача.

Аналіз результатів використання інформаційної технології та її програмної реалізації у розподіленій системі підтримки прийняття групових рішень та їх експериментальне дослідження показали підвищення ефективності такої системи, за рахунок мінімізації кількості конфліктних ситуацій, що виникають у процесі прийняття рішень групою осіб, зменшення у середньому на 15% часу на прийняття рішень системою, можливості врахування переваг кожного користувача та одночасного навчання та оцінювання знань користувачів.

Ключові слова: інформаційна технологія, інформаційна модель, розподілені системи, прийняття групових рішень, програмне забезпечення, процес розробки програмного забезпечення, баєсові мережі.

ABSTRACT

Kuzmina N.F. Information technology of group decision making support in distributed system. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The thesis for the getting of degree of Ph.D. in specialty 05.13.06 «Information technology» – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2020.

The thesis is dedicated to the study of increasing the effectiveness of group decision support in distributed systems. This is achieved through the use of appropriate information technology. The information technology uses the Bayesian analytical apparatus. The object of the study is the process of group decision making in distributed group decision support systems. The overall scientific result of the work is the solution of the actual scientific and practical problem of increasing the efficiency of distributed group decision support systems, which is achieved by using the proposed information technology based on Bayesian networks.

In the first section of the thesis the analysis of modern systems of group decision making support under uncertainty was provided.

A comparative analysis of the principles of group preferences of alternatives in decision support systems was performed, as well as the analysis of methods of group decision making.

An overview of methods for calculating Bayesian networks was performed, which allowed to identify precise and approximate methods and their advantages and disadvantages. As a result, it was found that each method allows to calculate only a limited range of the Bayesian network structure which significantly limits the possibilities of practical usage of such methods and creates the need for detailed study and modification of methods for calculating the Bayesian networks. Detailed analysis on clustering methods was performed.

It was established that Bayesian-based decision support systems allow a direct and logical interpretation of the relationship structure between task variables, that

greatly simplifies understanding of the decision-making process. It has been established that one of the most effective tools used for uncertainty support is decision-making based on Bayesian networks, so Bayesian networks are taken as the basis for developing an informational model and technology for group decision support. In addition, the systems, based on Bayesian networks allow users not only to make decisions, but also to teach, test and evaluate user knowledge in parallel.

The relevance of the scientific and practical task of developing information technology to support group decision making in distributed systems based on the Bayesian analytical apparatus is justified and general tasks of the research are defined.

The second section identifies and formalizes the parameters and proposes an information model of a distributed group decision support system. It is determined that the group decision support process has a large number of elements to consider when developing group decision support systems, especially if these systems allow the connection of geographically distributed users.

The information model of a distributed group decision support system can be presented as the following tuple: $M_s = \{A_0, C, Z, U, V, A, L, T_g, M, D_g, H, \Psi\}$ where A_0 – the main goal of the distributed group decision support system – optimal decision at a particular point in time; C – an array of users' computer network; Z – number of active connections; U – an array of users; V – group decisions method options; A – available alternatives; L – an array of cause and effect relationships between alternatives; T_g – total time of system operation in the process of making a complex decision; M – the number of iterations to make the final comprehensive decision; D_g – a comprehensive user decision, that is the set of all decisions made over time T_g ; H – a simulation operator, that characterizes the ratio of multiple alternatives to multiple links.

The operator of the estimation of the efficiency index Ψ correlates the set of output characteristics of the model D_g to the set of values of the coefficient of conformity of the selected alternatives to the decision taken by the system.

The input parameters for the information model are an array of users' network of computers, the number of active connections, the number of users, the group decisions method options, an array of available alternatives, an array of cause and effect relationships between alternatives, the time of decision-making by users, the time of delay in the response of the system to user actions, the time of the group preference in the decision-making process and the total system operation time in the decision-making process.

The output parameter of the model is a comprehensive user decision, which is the set of all decisions made.

Noteworthy parameters are Z – the number of active connections, since Z will not always be equal to U – an array of user's networks and C – an array of user's computer network. This feature is explained by the fact that multiple copies of a client program can run on one user's computer at a time, so it is possible to use the same computer to support multi-user group decisions. The feature allows to expand the scope of the system in case of limited hardware, since the personal preferences of users will be taken into account by the system, even if the same computer is used at the same time.

The general principles for the construction and calculation of the Bayesian network are identified, illustrating a connected tree of alternatives' probabilities, and basic principles for territorially shared user support are identified.

In the third section of the thesis, the information technology was developed to ensure the functioning of a distributed group decision support system.

The general principles of the distributed group decision support system have been developed and the algorithm of such system's operation with implementation of the different modes is given. The developed information technology supports two modes of group choice: the majority method and the Bayesian network method, which allows to compare the effectiveness of the decisions made and the number of the conflict situations that arise in the decision-making process.

The interface elements of the interactive group decision making support system

have been developed and the main modules for user interaction have been described. The developed implementation if means of presenting informative data provides the possibility of a detailed analysis of the characteristics of the object of study. The developed modules of information technology and their interrelation for interaction of users in the distributed system of group decision support are formulated. The software objects of the system are described in detail.

In the fourth section of the thesis the software implementation of methods of decision-making support is presented. Interface elements of local and distributed group decision support systems have been developed and the sequence of actions for the system usage was described.

Developed distributed group decision support software enables the connection of geographically distributed users using a client-server architecture and supporting data sharing between the system users using Windows Communication Foundation technology.

The data obtained as a result of the system work can be used to conduct a comprehensive assessment of each user individually and all users together. The Kemeny median method for integrated evaluation of group selection actions was implemented, which allows to directly build a generalized preference of users based on the preferences of each individual user.

The analysis of the results of the use of informational technology and its software implementation in the distributed system of group decision-making support has shown an increase of efficiency of such system, by minimizing the number of conflicts that arise in the decision-making process by a group of individuals, reducing by around 15% the time of the system decision making time, the ability to take into account the preferences of each user, while simultaneously learning and assessing user knowledge.

Keywords: information technology, information model, distributed systems, group decision making, software, software development, Bayesian networks.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні наукові результати дисертації викладено в таких наукових публікаціях:

[1] Н. Кузьміна, та А. Петух, “Огляд методів обчислення Байєсових мереж”, *Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки*, №1, с. 112-117, 2012. Провела огляд методів обчислення Байєсових мереж.

[2] Р. Кветний, та Н. Кузьміна, “Розподілена система підтримки прийняття групових рішень”, *Інформаційні технології та комп’ютерна інженерія*, №1, с. 4-14, 2020. Розробила практичну реалізацію інформаційної технології розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень.

[3] N. Kuzmina, “The informational model of Bayesian networks clustering methods in group decision making support systems”, *Norwegian journal of development of the international science*, Vol. 1, №39, p. 22-25, 2020.

[4] Н. Кузьміна, “Аналіз основних характеристик розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень”, *Сборник научных трудов SWorld*, т. 6, с. 84–87, 2013.

[5] А. Петух, В. Войтко, Є. Кузьмін, та Н. Кузьміна, “Автоматизована система підтримки групових рішень”, *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. №1, с. 76–79, 2009. Розробила алгоритмічне забезпечення автоматизованої системи підтримки групових рішень.

[6] А. Петух, В. Войтко, Д. Кательніков, та Н. Кополовець, “Інтерфейсні елементи системи колективного тестуючого навчання”, *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, №1, с. 98–106, 2007. Розробила інтерфейсні елементи режимів роботи користувачів в інтерактивних системах.

[7] А. Петух, В. Войтко, Є. Кузьмін, Н. Кополовець, та С. Бевз, “Моделі режимів групового вибору користувачів в інтерактивній системі колективної взаємодії”, *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, №1(13), с.

80–86, 2007. Розробила моделі реалізації режимів групового вибору в інтерактивній системі колективної взаємодії.

[8] А. Петух, В. Войтко, Є. Кузьмін, та Н. Кузьміна, “Принципи реалізації групового вибору в інтерактивних системах колективної взаємодії”, *Нові технології. Науковий вісник Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління*, №1(19), с. 160–166, 2008. Розробила практичні рекомендації щодо використання принципів реалізації групового вибору в інтерактивній системі колективної взаємодії.

[9] А. Петух, В. Войтко, Є. Кузьмін, та Н. Кузьміна, “Модель процесу підтримки прийняття рішень з використанням Байєсових мереж”, *Наукові праці ВНТУ*, №3, с. 1-7, 2009. Розробка моделі процесу підтримки прийняття рішень з використанням Байєсових мереж.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

[1] Н. Кузьміна, “Коригування ймовірностей Байєсової мережі методами зв’язного дерева”, *Матеріали науково-технічної конференції Інформатика, математика, автоматика – 2020*, Суми, 2020, с. 56-57.

[2] Н. Кузьміна, “Алгоритмічна реалізація розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень”, *Збірник матеріалів XLIX науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів Вінницького національного технічного університету*, Вінниця, 2020. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2020/paper/view/8693>. Дата звернення: Квіт. 30, 2020.

[3] А. Петух, В. Войтко, Є. Кузьмін, та Н. Кузьміна, “Модель системи підтримки прийняття групових рішень”, *Збірник матеріалів шостої міжнародної конференції ІОН – 2008*, Вінниця, 2008, Том 2, с. 514–517. Розробила інформаційну модель системи підтримки прийняття групових рішень.

[4] А. Петух, Н. Кузьміна, Є. Кузьмін, та В. Войтко, “Методи прийняття рішень і прогнозування подій в інтерактивних системах”, *Збірник матеріалів*

третьої науково-практичної конференції *Матеріали електронної техніки та сучасні інформаційні технології (МЕТІТ-3)*, Кременчук, 2008, с. 228. Проаналізувала методи автоматизації процесу прийняття рішень та прогнозування подій в інтерактивних системах.

[5] А. Петух, В. Войтко, Є. Кузьмін, Н. Кополовець, та С. Бурбело, “Методи групового вибору в інтерактивних системах колективної взаємодії”, *Збірник матеріалів міжвузівської науково-практичної конференції Прогресивні інформаційні технології в науці та освіті*, Вінниця, 2007, с. 188–195. Проаналізувала методи забезпечення групового вибору користувачів в інтерактивних системах.

[6] [main principles of the distributed group decision support system”, *Збірник матеріалів дванадцятої міжнародної конференції ІОН – 2020*, УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2020. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://ies.vntu.edu.ua/reports/program/PROGRAM-IES-20200525.pdf>. Дата звернення: Трав. 26, 2020.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

[1] С. Юхимчук, С. Бурбело, С. Бевз, Н. Кузьміна, та С. Хрущак, “Комп’ютеризована система управління індивідуальними навчальними планами магістратури”, *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. №2(16), с. 5–8, 2008. Розробила аналітичне забезпечення функціонування комп’ютеризованої системи управління навчальними планами.

[2] С. Юхимчук, С. Бурбело, С. Бевз, Н. Кузьміна, та С. Хрущак, “Формування індивідуальних планів магістрантів засобами автоматизованої системи документообігу”, *Збірник тез доповідей третьої міжнародної науково-технічної конференції ФОТОНІКА ОДС – 2008*, Вінниця, 2008, с. 87–88. Розробила забезпечення автоматизації системи ведення документообігу.

[3] В. Мокін, С. Бурбело, С. Бевз, В. Войтко, та Н. Кузьміна, “Система автоматизованого ведення документообігу рад вищих навчальних закладів”, *Наукові праці ВНТУ*, №3, с. 1–6, 2008. Розробила алгоритмічну реалізацію системи автоматизованого ведення документообігу.

Свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір:

[1] Н. Ф. Кузьміна, та Є. В. Кузьмін “Розподілена система підтримки прийняття групових рішень”, *Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір*. №50446, Лип. 26, 2013. Розробила алгоритмічне забезпечення розподіленої системи.

[2] Є. В. Кузьмін, та Н. Ф. Кузьміна, “Комп’ютерна програма підтримки прийняття групових рішень на основі Байєсової мережі”, *Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір*. №25844, Верес. 25, 2008. Розробила програмну реалізацію групового вибору з використанням Байєсової мережі.

[3] Н. Ф. Кузьміна, та Є. В. Кузьмін, “Комп’ютерна програма групового прийняття рішень щодо виконання послідовності дій з використанням принципу медіани Кемені в системах колективної взаємодії”, *Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір*. №23007, Груд. 3, 2007. Розробила програмну реалізацію групового вибору з використанням принципу медіани Кемені.

ЗМІСТ

ВСТУП	18
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ ГРУПОВИХ РІШЕНЬ У РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ.....	24
1.1 Аналіз сучасних систем підтримки прийняття групових рішень в умовах невизначеності.....	24
1.2 Огляд особливостей групового вибору альтернатив у системах підтримки прийняття рішень	28
1.3 Аналіз методів прийняття групових рішень	34
1.4 Огляд методів обчислення баєсових мереж	38
1.4.1 Точні методи.....	39
1.4.2 Наближені методи.....	41
1.5 Аналіз методів кластеризації для розрахунку баєсових мереж.....	45
1.6 Постановка задачі	52
1.7 Висновки до розділу 1	53
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ПРИЙНЯТТЯ ГРУПОВИХ РІШЕНЬ У РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ.....	55
2.1 Математична постановка задачі прийняття групових рішень.....	55
2.2 Розробка інформаційної моделі розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень.....	59
2.3 Загальні принципи побудови та обчислення баєсової мережі	61
2.4 Висновки до розділу 2	70
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ ГРУПОВИХ РІШЕНЬ.....	71
3.1 Загальні принципи реалізації інформаційної технології у розподілених системах підтримки прийняття групових рішень.....	71

3.2 Алгоритм роботи інформаційної технології у розподіленій системі підтримки прийняття групових рішень	77
3.3 Інтерфейсні елементи реалізації інформаційної технології у режимах роботи інтерактивної системи групового вибору	82
3.4 Основні модулі інформаційної технології для взаємодії користувачів у розподіленій системі підтримки прийняття групових рішень	95
3.5 Програмні об'єкти реалізації інформаційної технології для забезпечення функціонування розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень.....	98
3.6 Висновки до розділу 3	105
РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ ГРУПОВИХ РІШЕНЬ	107
4.1 Реалізація методу медіани Кемені для підтримки прийняття групових рішень	107
4.2 Розробка інтерфейсних елементів локальної системи підтримки прийняття групових рішень.....	111
4.3 Розробка інтерфейсних елементів розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень.....	116
4.4 Експериментальне дослідження розробленої локальної системи підтримки прийняття групових рішень	120
4.5 Експериментальне дослідження розробленої розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень	122
4.6 Порівняльний аналіз розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень на основі розробленої інформаційної технології.....	138
4.7 Висновки до розділу 4	142
ВИСНОВКИ	144
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	147
ДОДАТКИ	147

Додаток А Лістинг тестового програмного коду	162
Додаток Б Час прийняття рішень кожним користувачем за методом більшості під час виконання тестового завдання	166
Додаток В Кількість правильних та неправильних відповідей користувачів у ході виконання тестового завдання.....	171
Додаток Г Акти впровадження результатів дисертації.....	178
Додаток Д Список публікацій за темою дисертації.....	180

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Розвиток сучасної науки і техніки характеризується діяльністю людей, що тісно пов'язана з прийняттям рішень і полягає у визначенні оптимальної дії з множини всіх можливих дій для досягнення поставленої мети. Деякі з рішень, що приймаються спрямовані на вирішення важливих задач керування об'єктами та діями і характеризуються значним впливом на розвиток подій. За таких обставин доцільно приймати рішення групою осіб для забезпечення більшої ефективності. Все більшого розповсюдження набувають розподілені системи підтримки прийняття групових рішень, що дозволяють легко з'єднувати користувачів з обчислювальними ресурсами і успішно приховувати той факт, що ресурси розміщені у різних місцях мережі. У таких системах вирішальну роль відіграє груповий вибір, прийняття рішень з метою управління складними процесами. Процес формування комплексного рішення групою осіб являє собою складну задачу, яка все ще не має оптимального вирішення, хоча і базується на принципах формування індивідуального рішення.

Варто відмітити, що груповий вибір, зазвичай, здійснюється в умовах невизначеності. Як підходи до вирішення даної задачі пропонуються методи голосування, ранжування, алгоритми нечітких правил, однак, дані методи ефективні лише за умов відомих алгоритмів прийняття індивідуальних рішень групи користувачів.

У реальних умовах користувачі можуть приймати рішення зважаючи на свій досвід та знання у даній галузі, тому методи прийняття групових рішень повинні дозволяти враховувати всі фактори впливу на індивідуальний вибір кожного користувача, що приймає рішення, а отже і на комплексне групове рішення загалом. Існуючі ж методи, що враховують досвід осіб, що приймають рішення, мають велику обчислювальну складність.

Вагомий внесок у моделювання та дослідження систем підтримки прийняття рішень внесли такі провідні вітчизняні та зарубіжні науковці як Л. С. Файнзільберг, А. Б. Петровський, J. S. Coleman, E. Turban, О. І. Ларічев, І. Г. Черноруцький, D. Power, Е. Мулен, В. В. Подіновський, І. М. Макаров, Д. Канеман, Л. В. Найханова, В. Ключко, Е. Шумков, Н. Н. Кітаєв, В. Ф. Ситник та П. І. Бідюк. Серед науковців Вінницького технічного університету дослідженням систем підтримки прийняття рішень і моделювання локальних людино-машинних систем колективної взаємодії займався професор А. М. Петух. Дана робота базується на підходах та дослідженнях розпочатих під керівництвом А. М. Петуха.

Отже, враховуючи вищевикладене, актуальною є задача розробки та дослідження ефективних методів підтримки прийняття групових рішень, що дозволять враховувати неформальні правила прийняття групових рішень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконувалась у Вінницькому національному технічному університеті та пов'язана з держбюджетною науково-дослідною роботою «Методологія організації колективної взаємодії з використанням комп'ютерних технологій», номер держреєстрації 0105U002413, тема номер 55-Д-280 та науково-дослідною роботою «Розробка автоматизованої системи документообігу, моніторингу та управління навчальним процесом магістерської підготовки», тема номер 7204, а також з роботами по розробці нових інформаційних технологій згідно планів кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій у рамках роботи філії кафедри на науково-виробничому підприємстві “Спільна Справа” у 2019-2020 роках, що підтверджено відповідним актом.

Мета і завдання дослідження

Метою роботи є підвищення ефективності прийняття групових рішень за допомогою використання нової інформаційної технології на основі баєсових мереж. Для досягнення мети роботи необхідно розв'язати такі *задачі*:

- Проаналізувати сучасні інформаційні технології підтримки прийняття групових рішень у розподілених системах. Дослідити особливості групового вибору альтернатив та провести аналіз методів прийняття групових рішень.
- Формалізувати параметри моделі та сформулювати інформаційну модель розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень.
- Розробити інформаційну технологію прийняття групових рішень у розподілених системах.
- Розробити алгоритмічні засоби розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень.
- Розробити підхід до програмної реалізації системи підтримки прийняття групових рішень.

Об'єктом дослідження є процес прийняття групових рішень у розподілених системах підтримки прийняття рішень.

Предметом дослідження є методи та засоби реалізації розподілених систем підтримки прийняття групових рішень.

Методи дослідження. У процесі дослідження використані наступні методи: теорія прийняття рішень для побудови систем підтримки прийняття групових рішень; методи групового вибору для забезпечення прийняття рішень користувачами; теорія ймовірності та теорія баєсових мереж для забезпечення ефективної роботи розподіленої системи підтримки прийняття рішень та уникнення конфліктних ситуацій під час прийняття рішень користувачами.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Уперше запропоновано інформаційну технологію підтримки прийняття групових рішень у розподілених системах, яка на відміну від існуючих технологій ґрунтується на динамічній баєсовій мережі та технології Windows Communication Foundation, що дозволяє пришвидшити прийняття групових рішень при збереженні їх достовірності, а також одночасно здійснювати тренінг осіб, що приймають рішення

2. Уперше запропоновано нову інформаційну модель розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень, яка дозволяє поєднувати усі елементи розподіленої системи та, забезпечує можливість впливу на початкові ймовірності появи альтернатив для прийняття рішень, шляхом введення поточних переваг користувачів.

3. Запропоновано метод підготовки даних для прийняття групових рішень за допомогою баєсової мережі, який на відміну від існуючих дозволяє формувати альтернативи для вибору користувачів шляхом статистичного аналізу навчальної вибірки, що дає можливість підвищити ефективність прийняття групових рішень за рахунок пропонування найбільш ймовірних початкових альтернатив для вибору користувачами.

4. Запропоновано динамічну баєсову мережу для формування альтернатив вибору користувачів, яка використовує апіорні ймовірності появи альтернатив та динамічно оновлюється під час кожного етапу прийняття рішень користувачами, що дозволяє пропонувати найбільш ймовірні альтернативи на кожному етапі прийняття рішень користувачами до закінчення усіх альтернатив.

Практичне значення отриманих результатів:

- розроблено алгоритмічне забезпечення розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень
- розроблено та програмно реалізовано технології групового прийняття рішень з врахуванням переваг кожного користувача
- розроблено програмне та методичне забезпечення групового навчання програмуванню, яке використовує запропоновану інформаційну технологію з модулями синтаксичного аналізу програмних кодів.

Отримані на основі наукових досліджень практичні результати впроваджено в компанії «Спільна Справа» (м. Вінниця), а також у навчальний процес у Вінницькому національному технічному університеті на кафедрі автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, що підтверджено відповідними

актами, наведеними в додатках до дисертації.

Особистий внесок здобувача. Основні теоретичні та експериментальні дослідження та висновки дисертаційної роботи отримані автором особисто.

У наукових працях та доповідях, що виконані та опубліковані у співавторстві авторові належать: розробка практичних рекомендацій щодо використання принципів реалізації групового вибору в інтерактивній системі колективної взаємодії [33], розробка моделей реалізації режимів групового вибору в інтерактивній системі колективної взаємодії [95], розробка інтерфейсних елементів режимів роботи користувачів в інтерактивних системах [96], аналіз методів забезпечення групового вибору користувачів в інтерактивних системах [97], розробка програмної реалізації групового вибору з використанням принципу медіани Кемені [127], аналіз методів автоматизації процесу прийняття рішень та прогнозування подій в інтерактивних системах [112], розробка програмної реалізації групового вибору з використанням баєсової мережі [124], розробка інформаційної моделі системи підтримки прийняття групових рішень [113], розробка алгоритмічної реалізації системи автоматизованого ведення документообігу [130], забезпечення автоматизації системи ведення документообігу [131], розробка алгоритмічного забезпечення автоматизованої системи підтримки групових рішень [65], розробка аналітичного забезпечення функціонування комп'ютеризованої системи управління навчальними планами [132], розробка алгоритмічного забезпечення розподіленої системи [116], розробка програмних модулів розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень [121], розробка практичної реалізації інформаційної технології розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень [120], огляд методів обчислення баєсових мереж [81], розробка моделі процесу підтримки прийняття рішень з використанням Байєсових мереж [89].

Апробація матеріалів дисертації. Основні результати дисертаційного дослідження доповідались та обговорювались на наступних науково-практичних

конференціях: Міжвузівська науково-практична конференція «Прогресивні інформаційні технології в науці та освіті» (м. Вінниця, 2007 р.), Третя міжнародна науково-практична конференція «Матеріали електронної техніки та сучасні інформаційні технології» м. Кременчук, 2008 р.), Четверта Міжнародна конференція по оптоелектронним інформаційним технологіям «Фотоніка ODS-2008» (м. Вінниця, 2008 р.), XXXV, XXXVI, XXXVII, XXXVIII, XL, XLI, XLIX науково-технічні конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів Вінницького національного технічного університету (м. Вінниця, 2006, 2007, 2008, 2009, 2011, 2012, 2020 рр.), Шоста міжнародна конференція «Інтернет Освіта Наука (IES-2008)» (м. Вінниця, 2008 р.), Дванадцята міжнародна конференція «Інтернет Освіта Наука (IES-2020)» (м. Вінниця, 2020 р.), VIII mezinarodni vedecko-prakticka conference “Vedecky prumysl evropskeho kontinentu - 2012” (Praha, 2012 р.), Міжнародна науково-технічна конференція студентів та молодих вчених “Інформатика, математика, автоматика – 2020” (Суми, 2020 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 21 науковій праці, із них: 7 статей у наукових виданнях, які входять до переліку фахових видань з технічних наук, затверджених МОН України, 1 стаття у закордонному періодичному виданні, 2 статті у періодичних виданнях України, 8 тез виступів на науково-технічних конференціях та матеріалів міжвузівських науково-практичних конференцій та 3 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Основний зміст роботи викладено на 118 сторінках друкованого тексту, містить 68 рисунків та 3 таблиці. Список використаних джерел містить 142 найменування. Загальний обсяг роботи становить 184 сторінки.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ ГРУПОВИХ РІШЕНЬ У РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ

Під час аналізу інформаційних технологій підтримки прийняття групових рішень у розподілених системах можна виділити такі задачі:

- аналіз сучасних систем підтримки прийняття групових рішень в умовах невизначеності;
- аналіз особливостей групового вибору альтернатив у системах підтримки прийняття рішень;
- аналіз методів прийняття групових рішень;
- дослідження методів обчислення баєсових мереж;
- аналіз методів кластеризації для розрахунку баєсових мереж.

1.1 Аналіз сучасних систем підтримки прийняття групових рішень в умовах невизначеності

Широке використання наукових методів прийняття рішень за допомогою комп'ютерних засобів обумовлено тим, що процес прийняття рішень групою користувачів потребує збереження та обробки великої кількості інформації. Використання ж сучасних комп'ютерних технологій дозволяє забезпечити груповий вибір за допомогою одного або декількох методів та значно спростити процес прийняття рішень для користувачів.

Застосування систем підтримки прийняття групових рішень дозволяє не лише сформулювати множину альтернатив для прийняття рішень, а й прогнозувати розвиток подій після прийняття того чи іншого рішення, що дозволяє зменшити або мінімізувати негативні наслідки від прийнятих рішень. Головною метою

використання систем підтримки прийняття групових рішень є підвищення ефективності процесу прийняття рішень [1] у слабо структурованих або неструктурованих задачах.

Існує багато визначень системи підтримки прийняття групових рішень, але найбільш вдало відображає основні властивості таких систем наступне визначення. Системи підтримки прийняття групових рішень – це інтерактивні автоматизовані системи, які допомагають групі користувачів, що приймають рішення, використовувати дані та моделі для ідентифікації та розв’язання слабо структурованих задач [2].

На сьогодні не існує загальноприйнятої класифікації систем підтримки прийняття групових рішень, а основними параметрами за якими класифікують такі системи є характер допомоги користувачеві під час прийняття рішення [3] та ступінь визначеності умов, при яких відбувається прийняття рішень.

Виділяють наступні типи систем за характером допомоги користувачеві під час прийняття рішення [3]:

- Активні (радіть найкращу альтернативу, яку необхідно обрати).
- Пасивні (допомагають у процесі прийняття рішення, але не пропонують найкращої альтернативи).
- Кооперативні (дозволяють користувачам редагувати альтернативи, які пропонуються системою з подальшим узгодженням з системою).

Ступінь визначеності умов під час прийняття групових рішень відіграє дуже важливу роль у процесі формування рішень. Основною особливістю систем підтримки прийняття групових рішень є невизначені умови. Невизначеність у таких системах обумовлюється одним або декількома параметрами: участю у процесі прийняття рішень кількох учасників, кожен з яких має свої психологічні особливості, невизначеними або не повністю визначеними цілями та знаннями про галузь, у якій приймається рішення, адже будь-яке прийняте користувачем рішення може призвести до одного, з множини можливих, результату,

ймовірності появи яких невідомі.

Загалом, процес прийняття рішень в умовах невизначеності зводиться до відшукування оптимальної альтернативи на кожному етапі вибору рішення для формування комплексного рішення [4]-[8]. Дана ситуація відображає стан речей у системах підтримки прийняття групових рішень, у яких користувачам пропонується зробити вибір на користь однієї альтернативи з множини можливих.

Найчастіше в умовах невизначеності використовуються три основних типи систем підтримки прийняття групових рішень: системи засновані на правилах, системи засновані на нейронній мережі та системи засновані на баєсовій мережі (рис. 1.1) [9]-[13].

Розглянемо основні типи систем детальніше.

Системи, засновані на правилах, у своїй основі містять бібліотеку правил і дають змогу зробити логічні висновки про область даних, що досліджується та виконати відповідні отриманій інформації дії.

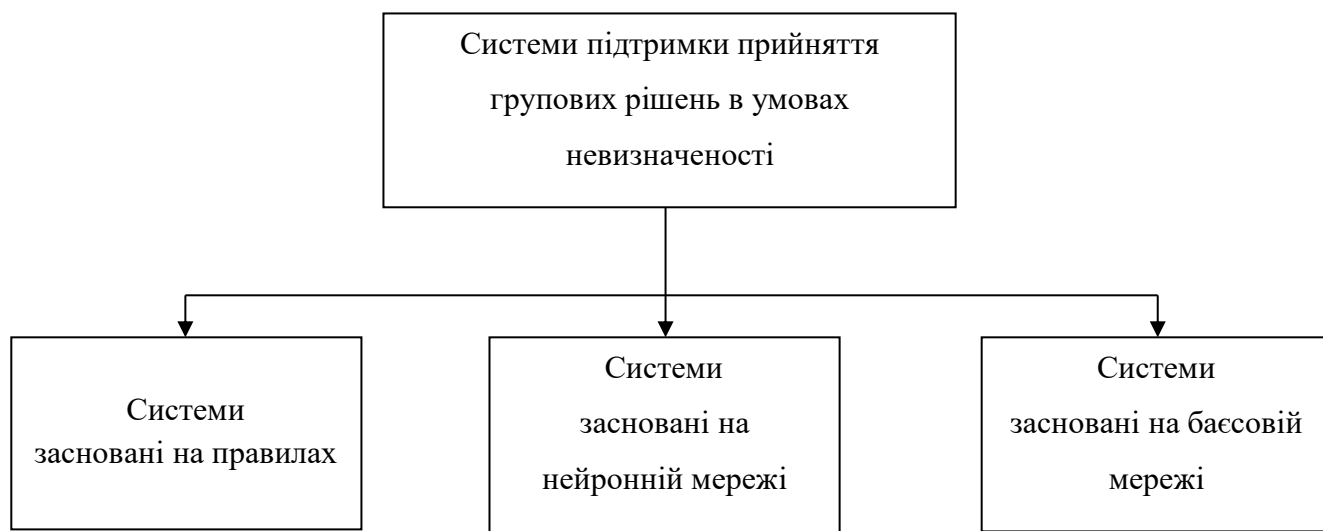


Рисунок 1.1 – Типи систем підтримки прийняття групових рішень в умовах невизначеності

Правила відображають відношення у області даних, що досліджується. Виділяють такі найпопулярніші методики, що дозволяють враховувати

невизначеність у системах, заснованих на правилах: нечіткої логіки, факторів визначеності та функцій очікування Демпстера-Шефера. Недоліком цих методик є те, що вони враховують невизначеність лише локально, що може призводити до серйозних помилок [2], [3], [14].

Системи, засновані на нейронній мережі. Нейронні мережі складаються з декількох рівнів взаємопов'язаних вершин. Нейронна мережа здатна функціонувати у двох режимах: у режимі навчання, під час якого відбувається формування логічних ланцюгів та у режимі розпізнавання, під час якого нейронна мережа з високою достовірністю визначає до якого типу належить певен об'єкт та які дії слід виконувати [15]. У випадку, коли відношення між вершинами невизначені, то нейронна мережа, після відповідного навчання, зможе знайти найбільш ймовірне рішення за заданим набором вхідних змінних. Недоліком застосування методу нейронних мереж є те, що вони не дозволяють отримати наступне найбільш ймовірне рішення та визначити, при яких припущеннях про область даних, що досліджується, запропоноване рішення буде найбільш ймовірним [9].

Системи, засновані на баєсовій мережі використовують аналітичний апарат теорії ймовірностей [16]-[19]. баєсова мережа – це імовірнісна модель, що являє собою множину змінних та їх імовірнісних залежностей [20], [21]. Формально, баєсова мережа подається у вигляді направленого ациклічного графа, вершини якого символізують змінні будь-яких типів (параметри, гіпотези), а ребра символізують умовні залежності між змінними [22].

Формула баєса пов'язує взаємні відносні ймовірності явищ [23]:

$$P(H|e) = \frac{P(e|H)P(H)}{P(e)} \quad (1.1),$$

де e – спостереження або свідокство, H – гіпотеза.

На відміну від нейронних мереж, баєсові мережі допускають пряму, логічну інтерпретацію структури відношень між змінними задачі, що значно спрощує

розуміння процесу прийняття рішень [24], [25].

У баєсових мережах можуть органічно поєднуватися емпіричні частоти появи різних значень змінних, суб'єктивні оцінки очікувань і теоретичні уявлення про математичні ймовірності тих або інших наслідків з апіорної інформації [26]. Це є важливою практичною перевагою і відрізняє баєсові мережі від інших методик інформаційного моделювання [24]. Баєсові мережі використовують ймовірнісні висновки шляхом обчислення апостеріорного розподілення змінних за змінними-свідцтвами [27]-[30]. Дана властивість дозволяє отримати нове знання про стан підмножини змінних спостерігаючи за іншими змінними, що в свою чергу є однією з основних причин широкого використання баєсових мереж у системах підтримки прийняття рішень [31], [32].

Недоліком застосування даного методу є складність його реалізації для великих та складних досліджуваних явищ, хоча, варто відмітити, що цей недолік вирішується, в останні роки, за рахунок використання методів отримання наближених результатів. Перевагою методу баєса є можливість отримання реалістичної моделі дійсності та орієнтації в найбільш ймовірному напрямку розвитку подій досліджуваного явища.

Отже, враховуючи вищевикладене у якості методу вибору рішень у розподіленій системі підтримки прийняття групових рішень, вирішено використовувати аналітичний апарат баєсових мереж, що дозволить не лише допомагати користувачам приймати рішення, а й паралельно здійснювати тестування та оцінку знань користувачів.

1.2 Огляд особливостей групового вибору альтернатив у системах підтримки прийняття рішень

Реалізація методів групового вибору передбачає визначення узгодженості індивідуальних переваг у груповій дії і, таким чином, керується критеріями

вибору оптимального рішення [33].

Нехай $F(f)$ є функцією групової переваги, в якій $f = (f_1, f_2, \dots, f_n)$ – вектор індивідуальних переваг. Розглянемо декілька існуючих принципів узгодженості переваг та функцій групової переваги, що їм відповідають [34]-[37].

1. Принцип диктатора. За перевагу приймається перевага однієї особи групи – диктатора. Функція групової переваги дорівнює в цьому випадку функції переваги диктатора $f_i: F(f_1, f_2, \dots, f_n) = f_i$.

За своєю суттю групова перевага такого методу відповідає індивідуальній перевазі конкретного користувача системи. Даний підхід може бути корисним для систем підтримки прийняття групових рішень тільки у випадку тимчасового управління системою з метою навчання, демонстрації або налаштування параметрів системи. Диктатором може виступати викладач, адміністратор тощо.

2. Метод більшості. У системі підтримки прийняття групових рішень можуть утворюватися коаліції – об'єднання членів групи за загальною метою роботи. Метод більшості стверджує, що групова перевага повинна відповідати перевазі коаліції, яка має кількість членів (голосів), що перевищує деякий визначений поріг і відповідає умовам утворення кворуму для здійснення групового вибору:

$$F(f_{y1}, f_{y2}, \dots, f_{ys}) = f_i \quad (1.2)$$

при $\Pi_{yi} > c \times \frac{d}{2}$

де s – кількість коаліцій;

f_{ys} – функція переваг коаліції;

f_{yi} – функція переваг коаліції, що має кількість голосів Π_{yi} ;

c – коефіцієнт ($1 \leq c \leq 2$);

d – кількість членів групи користувачів системи підтримки прийняття групових рішень.

При $c = 1$ поріг визначається половиною загальної кількості членів колективної взаємодії, тому говорять про метод простої більшості. При $c = 2$ поріг дорівнює d , що відповідає абсолютній більшості голосів.

Даний метод можна використовувати для реалізації групового вибору у системах підтримки прийняття групових рішень, враховуючи індивідуальні дії всіх користувачів, які утворюють більшість.

Недоліком використання такого підходу є те, що він не враховує дії користувачів, які не ввійшли до більшості, наявність більшої кількості коаліцій, рівень індивідуальних особливостей кожного користувача і т.п.

3. Принцип Курно. Нехай усі коаліції будуть одноелементними, тобто система підтримки прийняття групових рішень складається з незалежних користувачів, які мають різні переваги і тому не утворюють колективної групи. У цьому випадку оптимальне рішення задовольняє принципіві Курно, що підкреслює індивідуальну раціональність: ніхто з користувачів системи окремо не має зиску змінювати рішення, оскільки не існує кращого [38].

Недоліком принципу Курно є обмеженість його реалізації у системах підтримки прийняття групових рішень, які в першу чергу направлені на виконання групової взаємодії.

4. Принцип Еджворта. Нехай безліч коаліцій складається з довільного числа s коаліцій ($1 < s < d$). За принципом Еджворта кожна коаліція не має зиску змінювати рішення, оскільки не існує кращого [39], [40]. Недоліком такого підходу є необхідність застосування допоміжного методу, який враховуватиме взаємодію коаліцій у системі підтримки прийняття групових рішень.

5. Принцип Парето. Нехай система групового вибору складається з єдиної коаліції. Тоді всім членам групи відразу не має зиску змінювати оптимальне рішення, оскільки не існує кращого.

Принцип Парето відображає деякий гуманістичний підхід у системі підтримки прийняття групових рішень, оскільки всі члени групи можуть

покращити свої рішення без нанесення збитків іншим користувачам системи [41].

Це означає, що вектор переваг оптимального рішення кожного користувача системи підтримки прийняття групових рішень не гірший, ніж значення вектору для будь-якого іншого рішення. Формально це можна записати у вигляді:

$$[f_1(Y^*), \dots, f_d(Y^*)] \geq [f_1(Y_i), \dots, f_d(Y_i)] \quad (1.3).$$

Така нерівність виконується для будь-якого i -го рішення, не співпадаючого з оптимальним рішенням. За принципом Парето одне рішення має перевагу над іншим, коли вектор, що складається зі значень функцій переваг групової взаємодії для одного рішення, не гірший, ніж вектор переваг для іншого рішення.

Отже, $Y_i > Y_j$, якщо $[f_1(Y_i), \dots, f_d(Y_i)] \geq [f_1(Y_j), \dots, f_d(Y_j)]$.

Тобто всі члени групової взаємодії оцінили рішення Y_i не гіршим за рішення Y_j та принаймні один користувач із групи висловився за точну перевагу рішення Y_i порівняно з рішенням Y_j .

Формально цю умову можна записати у вигляді нерівностей: $f_m(Y_i) \geq f_m(Y_j)$; $f_k(Y_i) > f_k(Y_j)$, $m = \overline{1, d}$; $k = \overline{1, d}$. Принцип Парето передбачає виконання умов групового вибору єдиної коаліції. Проте конкретизація оптимальних принципів узгодженості може бути виконана на засаді розгляду характеру відношень між коаліціями системи групового вибору, що, в свою чергу, вимагає розробки додаткових складних моделей реалізації групової взаємодії в утворених коаліціях з урахуванням пріоритетів такого підходу.

Принцип Парето можна застосовувати в інтерактивних системах групового вибору тільки за часткових умов, коли спостерігається єдина коаліція, що обмежує широке використання даного принципу.

Результати порівняльного аналізу розглянутих принципів групового вибору щодо можливостей їх застосування в інтерактивних системах зведено до таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Особливості реалізації принципів групового вибору в інтерактивних системах

Принцип	Час виконання	Кількість користувачів	Кількість коаліцій	Швидкодія	Недоліки застосування
1	2	3	4	5	6
Диктатора	Короткий	1 (індивідуальний вибір)	0	Висока	Тимчасове виконання, відсутність взаємодії користувачів
Більшості	Довгий	N	1 (головна)	Середня	Не враховує інші можливі коаліції
Курно	Довгий	N	0	Мала	Забезпечення лише індивідуального режиму в часткових випадках взаємодії
Еджворта	Довгий	N	N	Мала	Розробка допоміжних математичних моделей
Парето	Довгий	N	1 (головна) N	Середня	Розробка складних моделей для розширення діапазону використання

Одним з методів, що дозволяють безпосередньо побудувати узагальнений вибір на основі вибору кожного окремого користувача є метод медіани Кемені. Метод медіани Кемені вважається найбільш коректним методом інтегрального оцінювання дій, під час здійснення групового вибору, оскільки при побудові медіани суттєво враховуються всі індивідуальні ранжування, хоча його програмна реалізація є досить складною [42].

Як правило, процедура ранжування здійснюється в такий спосіб: користувачеві надається весь набір альтернатив і пропонується вказати альтернативу a_{i1} - найбільш кращу (чи найменш кращу). Альтернатива a_{i1} з подальших розглядів виключається - її ранг визначений. Потім серед альтернатив, що залишилися, користувачеві пропонується вказати альтернативу a_{i2} - найбільш кращу, чим всі інші. Тим самим визначається ранг альтернативи a_{i2} . Процес продовжується, поки кожній з розглянутих альтернатив не буде призначений відповідний перевагам користувача ранг.

Якщо користувач вважає деякі альтернативи непорівнянними, то альтернативам приписують так звані стандартизовані ранги, значення яких визначається середнім суми рангів, поділених між непорівнянними об'єктами.

Побудова результуючої множини дій на основі використання медіани Кемені вимагає введення значення відстані між будь-якими двома множинами дій A_v і A_μ . Відстань d між цими двома множинами виводиться автоматично.

При обчисленні медіани Кемені розглядають матрицю втрат $\|Q_{ij}\|$ з елементами $\{q_{ij}\}$. Відстань від довільної множини дій A , якій відповідає матриця втрат відношень $M(A)$ з елементами $\{a_{ij}\}$, до всіх множин $A_1, A_2, \dots, A_N$, зазначених користувачами, яким відповідають матриці відношень $M(A_1), M(A_2), \dots, M(A_N)$ з елементами $\{a_{ij}^1\}, \dots, \{a_{ij}^N\}$ відповідно, визначається за формулою:

$$\sum_{v=1}^N d(A, A_v) = \sum_{v=1}^N \sum_{i < j} |A_{ij}^v - A_{ij}| = \sum_{i < j} \sum_{v=1}^N |A_{ij}^v - A_{ij}| = \sum_{i < j} \sum_{v=1}^N d_{ij}(A, A_v), \quad (1.4)$$

де $d_{ij}(A, A_v) = |A_{ij}^v - A_{ij}|$ - сумарна відстань від A до $A_1, A_2, \dots, A_N$.

Матриця відношень $M(A)$ множини A будується як матриця $n \times n$, де n - число об'єктів у множині дій. Елемент матриці визначається за умовами:

$$A_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } a_i \text{ має перевагу над } a_j \\ 0, & \text{якщо } a_i \text{ еквівалентно } a_j \\ -1, & \text{якщо } a_j \text{ має перевагу над } a_i \end{cases} \quad (1.5)$$

Задача знаходження медіани Кемені для множин дій може бути

сформульована як задача визначення такого упорядкування альтернативних дій (а, отже, рядків і стовпців матриці Q), щоб сума елементів матриці, розташованих над діагоналлю, була мінімальною.

Результати проведеного аналізу репрезентують умови реалізації принципів групового вибору. Такі принципи повинні формувати інтегральну оцінку дій користувачів з урахуванням утворення можливих коаліцій, а також урахувати всю множину дій кожного користувача системи підтримки прийняття групових рішень при виконанні елементарних завдань, які визначаються та фіксуються на різних етапах групового вибору.

1.3 Аналіз методів прийняття групових рішень

Сучасні методи прийняття рішень використовують весь арсенал методів прикладної математики. Вони використовуються для оцінки ситуацій і прогнозування при виборі цілей, для генерування множини можливих варіантів рішень і вибору з них найкращого [37], [43].

Для визначення методів прийняття групових рішень в системах підтримки прийняття групових рішень необхідно спочатку виділити сферу задач прийняття рішень для застосування цих методів [44], [45].

Розглянемо класифікацію задач прийняття рішень (рис. 1.2) [38], [39].

Задачі, що розглядаються в рамках даної роботи, відносяться до задач прийняття рішень людиною. Система підтримки прийняття групових рішень призначена лише для створення придатних умов для користувачів, що одночасно працюють над прийняттям комплексного рішення [46], [47].

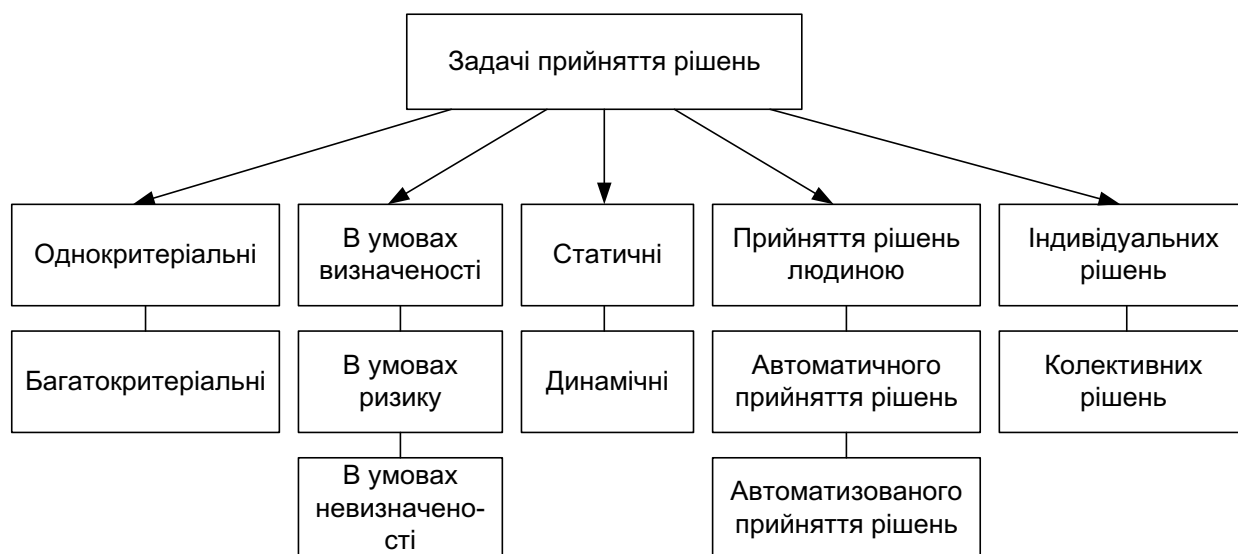


Рисунок 1.2 – Класифікація задач прийняття рішень

В системах підтримки прийняття групових рішень розглядатимемо статичні задачі прийняття рішень, тобто такі, умови яких не змінюються у процесі розв'язання. Задачі, що розв'язуються у системах підтримки групових рішень, можна віднести як до однокритеріальних задач, або таких, що до них зводяться, так і до багатокритеріальних, залежно від складності вирішуваного завдання [42], [48]-[51]. У рамках даної роботи розглядатимемо задачі прийняття групових рішень, що дозволяють одночасно враховувати оцінки багатьох користувачів.

В загальному випадку, однак, обрання методу вирішення задачі прийняття рішення обумовлюється умовами визначеності, ризику або невизначеності до яких належить задача [52]-[53]. В інтерактивних системах, що забезпечують підтримку прийняття групових рішень, зазвичай, процес вибору рішення з множини альтернатив відбувається в умовах невизначеності [54], [55]. Невизначеність у таких системах обумовлюється участю у процесі прийняття рішень кількох учасників, кожен з яких має свої психологічні особливості, невизначеними або не повністю визначеними цілями та знаннями про навколишнє середовище. Будь-яке прийняте користувачем рішення може призвести до одного, з множини можливих, результату, ймовірності появи яких невідомі.

Процес прийняття рішень в умовах невизначеності зводиться до відшукування оптимальної альтернативи на кожному кроці у процесі прийняття комплексного рішення [56]. Дана ситуація відображає стан речей у інтерактивних системах підтримки одночасної роботи кількох користувачів, де їм пропонується зробити вибір на користь однієї альтернативи з множини можливих.

Методи, що базуються на різних підходах іноді дають різні результати. Кожен підхід має свої обмеження та особливості, тому необхідно проаналізувати можливі методи до того як його застосовувати у процесі прийняття рішень.

Виділяють такі основні методи прийняття рішень в умовах невизначеності: методи аналізу ієрархій, методи теорії нечітких множин, методи лінійної згортки, метод дерева рішень, метод експертних оцінок та метод баєса [57]-[60]. Виділяють також методи групового упорядкування, методи виділення підмножини об'єктів, методи з дискретною невизначеністю, методи стохастичного домінування, методи на основі глобальних критеріїв, методи на основі кривих байдужості та декомпозиційні методи [40], [61]. Розглянемо детальніше основні методи прийняття рішень в умовах невизначеності.

Методи аналізу ієрархій характеризується розкладом задачі на окремі, прості складові та обробку вибору, зробленого особою, що приймає рішення. У результаті даного процесу визначається відносне значення альтернатив для критеріїв, які знаходяться в ієрархії. Відносне значення альтернатив виражається чисельно у вигляді векторів пріоритетів. Такі значення векторів являються оцінками у шкалі відношень і відповідають так званим жорстким оцінкам. Виділяють два типи ієрархій, які відрізняються характером зв'язків між критеріями та альтернативами. До першого типу відносять такі ієрархії, у яких кожен критерій, що має зв'язок з альтернативами, пов'язаний зі всіма іншими альтернативами. До другого типу відносять ієрархії, у яких кожен критерій, що пов'язаний з альтернативами, не пов'язаний зі всіма альтернативами, що розглядаються. У методах аналізу ієрархій виділяють такі методи порівняння

альтернатив: попарне порівняння, порівняння альтернатив відносно стандартів і порівняння альтернатив копіюванням [41].

Методи теорії нечітких множин використовуються для формалізації лінгвістичних знань. Експертні оцінки альтернативних варіантів за критеріями можуть бути представлені як нечіткі множини або числа, що виражені за допомогою функцій приналежності. Для впорядкування нечітких чисел існують багато методів, які відрізняються один від одного способом згортки і побудови нечітких відношень переваг між об'єктами. Методи теорії нечітких множин дозволяють зручно та достатньо об'єктивно оцінювати альтернати за окремими критеріями [62].

Методи лінійної згортки. Методи лінійної згортки традиційно поділяються на великі групи, які відрізняються своїм підходом до вирішення задачі упорядкування об'єктів. До методів першої групи належать статистичні методи. До методів другої групи належать комбінаторно-логічні та теоретико-графові методи. У статистичних методах кожному об'єкту ставиться у відповідність деякий інтегральний показник, який оцінює результати його порівняння з рештою об'єктів, після цього об'єкти упорядковуються за спаданням значень цього фактору. У методах комбінаторно-логічних та теоретико-графових оцінюються показники всього впорядкування загалом і обирається впорядкування, що максимізує деякий функціонал якості [40].

Метод дерева рішень використовуються для представлення можливих дій та для знаходження послідовності правильних рішень, які призводять до максимальної очікуваної корисності [63].

Головна ідея такого методу полягає у отриманні ймовірностей з'єднань у дереві для визначення ймовірностей появи кожної альтернативи (вершина дерева). Отримані ймовірності дозволяють будувати оптимальні шляхи в дереві рішень [64]. Метод дерева рішень потребує великих затрат часу для аналізу складних досліджуваних явищ, хоча і дозволяє здійснювати структурно

побудований процес прийняття рішень.

Метод експертних оцінок (метод Делфі) полягає у зборі інформації від експертів у визначеній галузі, формуванні результуючого висновку щодо розвитку подій у досліджуваному явищі та визначенні ступені узгодженості отриманої інформації [36]. Основний недолік використання даного методу полягає у великих часових витратах на узгодження даних експертів, оскільки процес прийняття рішення триває доти, поки більшість експертів не дійде згоди. Перевагою даного методу є відносна простота його реалізації.

1.4 Огляд методів обчислення баєсових мереж

Одним з найпотужніших математичних апаратів теорії прийняття рішень за умов невизначеності вважають баєсові мережі, що дозволяють у наочний та логічний спосіб обчислювати ймовірності настання тієї чи іншої події за різноманітних обставин [9], [62], [65]-[67].

Усі інструменти обчислення баєсових мереж можна поділити на дві основні групи: точні та наближені методи. Варто відмітити, однак, що хоча баєсові мережі і являються досить ефективним інструментарієм, обчислення баєсових мереж для дуже складних явищ та систем являє собою NP-складну задачу навіть за умови використання наближених методів розрахунку [68]-[70]. Точні методи найчастіше використовуються для вирішення підзадач, коли важлива саме точність значення ймовірності настання події за умови обрання певної групи альтернатив. Наближені ж методи, дозволяють з прийнятною похибкою обчислювати баєсові мережі, що особливо важливо, за умов складних та комплексних (трудомістких) задач [63].

Найбільш відомими точними алгоритмами обчислення баєсових мереж є: алгоритм Лаурітцена і Шпігельхалтера, Шафер-Шеноя, HUGIN, Lazy propagation та різноманітні модифікації даних алгоритмів [64]. Найбільш відомими

наближеними методами обчислення є алгоритми Марківського ланцюга Монте Карло [63]. На сьогоднішній день не існує оптимально ефективного алгоритму для пошуку рішень у баєсових мережах, тому існує потреба зниження складності обчислень у мережі.

Одним з методів для зниження складності пошуку рішень у баєсових мережах пропонується використання переваг паралелізації під час перерахунку ймовірностей [71]. Процес паралелізації полягає у поділі комплексної задачі на підзадачі, їх одночасному вирішенні та формуванні результуючого рішення з вирішень підзадач. Найбільш повну класифікацію методів обчислення ймовірності настання подій у баєсових мережах наведено у роботі [63].

Узагальнену схему методів обчислення баєсових мереж наведено на рис. 1.3.

Розглянемо основні групи методів детальніше.

1.4.1 Точні методи

Алгоритми кластеризації. Алгоритми кластеризації полягають у трансформації мережі з багатьма зв'язками у дерево клік, шляхом кластеризації триангульованого морального графа з основного неорієнтованого графа і подальшому поширенні повідомлень у дереві клік [63].

Алгоритм полідерев. Алгоритм полідерев працює тільки у однозв'язних мережах (мережах у яких будь-які дві вершини з'єднані не більше ніж однією ненаправленою дугою) [63]. Алгоритм полідерев обчислює постеріор однієї змінної одночасно обраховуючи прогножуючу та ймовірнісну підтримку для тієї змінної та обчислюючи будь-яке необхідне повідомлення.

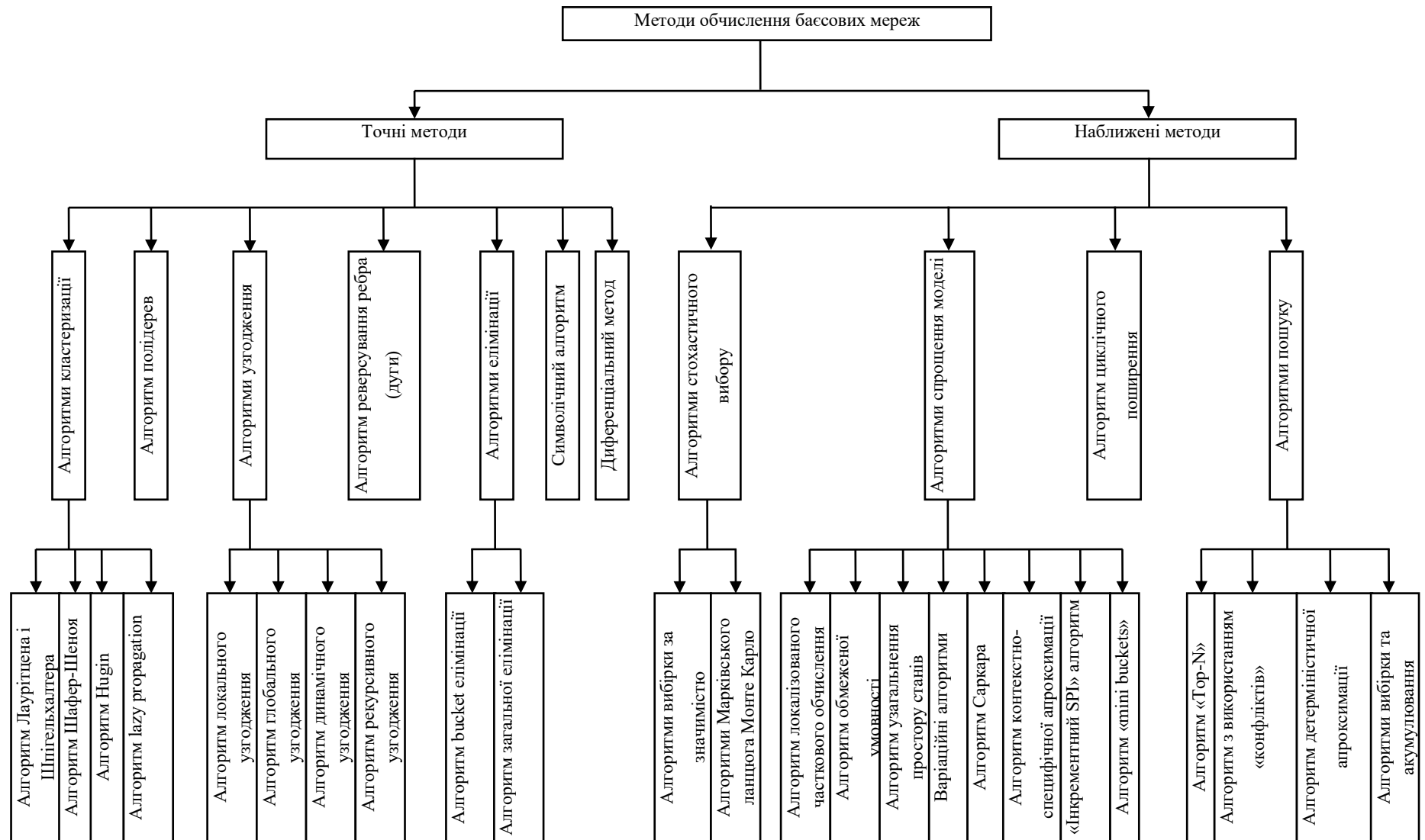


Рисунок 1.3 – Узагальнена схема методів обчислення баєсових мереж

Оскільки доказові змінні у мережах довіри не змінюються, одні і ті ж повідомлення можуть бути так само повторно використані для обчислення апостеріорного поширення для інших змінних [72].

Алгоритми узгодження. Один із базових алгоритмів узгодження метод погодження циклічними зрізами був, як і алгоритм полідерев розроблений для мережі з багатьма зв'язками. Цей алгоритм полягає у зміні зв'язності мережі та її трансформації у однозв'язну мережу шляхом створення обраної підмножини вузлів, яка називається циклічним зрізом. Утворена однозв'язна мережа розраховується за допомогою алгоритму полідерев. Результати кожного встановлення комбінуються, залежно від їх початкових ймовірностей [63]. Узгодження є загальною назвою для алгоритмів, що досліджує простір часткового присвоєння значень або часткового узгодження. Узгодження означає розділення проблеми на підпроблеми, що базується на визначеній умові.

Складність алгоритмів узгодження є експоненціальною у множині узгоджень, однак, їх просторова (ємнісна) складність є всього лише лінійною [73].

Алгоритм реверсування ребра (дуги). Алгоритм реверсування є одним з найперших точних алгоритмів обчислення ймовірності настання подій у баєсових мережах. Алгоритм застосовує послідовність операторів до мережі, яка реверсує зв'язки використовуючи правило баєса. Процес триває, доки мережа не зменшується до послідовності вузлів із безпосередніми предками вузлами доказами [63].

Алгоритм реверсування дуги є засобом для зміни структури баєсової мережі так, що дуга між двома вершинами змінює свою направленість, в той же час правильно відображаючи початкове поширення [74].

Алгоритм елімінації. Алгоритм виключає інші змінні одна за одною шляхом їх сумування [63]. Сутність алгоритму полягає у виборі однієї змінної за раз і заміну її новим обмеженням, що сумує вплив обраної змінної. Головний недолік алгоритму полягає в тому, що нові обмеження можуть мати велику кількість

операндів, що вимагає експоненціального часу та простору для обробки та зберігання. Однак, перевагою алгоритму є те, що в найгіршому випадку складнощі часу та простору можуть бути сильно обмежені структурним параметром, що називається індукованою шириною. Експоненційна складність простору суворо обмежує практичну користь алгоритму [75].

Символічний алгоритм. Символічний алгоритм розглядає ймовірнісний висновок як комбінаторну оптимізаційну задачу. Ймовірнісний висновок є задачею знаходження оптимальної комбінації по заданому набору ймовірнісних розподілів [63]. Символічний алгоритм дозволяє обчислити ймовірності настання подій у баєсовій мережі та представляє результат як функції параметрів у символічній формі [76].

Диференціальний метод. Диференціальний підхід трансформує баєсову мережу у багатовимірний поліном, а потім обчислює часткові похідні цього поліному по кожній змінній. Коли похідні стають доступними, можна обчислити відповіді на дуже широкий клас ймовірнісних запитів за сталий час [22]. Метод базується на представленні мережі за допомогою поліному і потім отримання відповідей на ймовірнісні питання через обчислення та диференціювання поліному [77].

1.4.2 Наближені методи

Алгоритми стохастичного вибору. Алгоритми стохастичного вибору (алгоритми Монте-Карло) є найбільш відомими наближеними алгоритмами обчислення ймовірності настання подій у баєсових мережах. Вони генерують набір з випадково вибраних зразків або станів мережі відповідно до таблиць значень СРТ у моделі, а потім обчислюють наближені ймовірності запиту змінних через частоту їх появи у зразках. Точність алгоритму залежить від розміру зразків та не залежить від структури мережі.

Алгоритми стохастичного вибору можуть бути розділені на дві основні категорії: алгоритми вибірки за значимістю та методи Марківського ланцюга Монте Карло. Усі вищенаведені алгоритми стохастичного вибору можуть бути узагальнені у структуру вибірки за значимістю у яких вибір є незалежним один від одного. Головні відмінності між ними у тому як вони ініціалізують та обновляють функцію значимості та як вони генерують та зважують вибірки. У методах Марківського ланцюга Монте Карло вибірки є залежними [63]. У даних алгоритмах ймовірність події обчислюється використовуючи частоту з якою ця подія настає у серії експериментів [78].

Алгоритми спрощення моделі. Методи спрощення моделі спочатку спрощують модель до такого стану, коли стає можливим використання точних методів, а потім запускають точний алгоритм. Деякі методи зменшують складність моделі через анулювання малих ймовірностей. Інші включають в себе видалення слабких залежностей або видалення дуг [79].

Алгоритм циклічного поширення. Алгоритм циклічного поширення, по суті, являє собою алгоритм поширення для полідерев у баєсових мережах з циклами [22]. Точний алгоритм для однозв'язних мереж – докази зводяться до правильних маргіналій кількістю ітерацій рівну діаметру графа. Це допускає паралельне оновлення усіх вершин (вузлів). Алгоритм також може бути застосований у централізованій формі, у цьому випадку він зводиться до двох ітерацій [80].

Алгоритми пошуку. Алгоритми пошуку припускають, що відносно мала частина загального простору ймовірностей містить в собі більшість ймовірнісної міри. Ці алгоритми виявляють встановлення з високою ймовірністю та потім використовують їх для отримання коректного наближення. Алгоритми пошуку включають в себе такі методи як “Top-N”, метод пошуку з використанням «конфліктів», “Deterministic Approximation” and “Sample-and-Accumulate” та інші [63]. Алгоритми пошуку здійснюють пошук найбільш правдоподібних екземплярів моделі та обчислюють постеріорну ймовірність події оцінюючи вагу

ймовірності сумісних з подією екземплярів по відношенню до тих які не сумісні з нею [78].

Основні відмінності між методами обчислення баєсових мереж наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Основні відмінності між методами обчислення баєсових мереж

Метод	Переваги	Недоліки
1	2	3
Алгоритми кластеризації	Ефективні для розріджених мереж	Надзвичайно повільні для щільних мереж
Алгоритм полідерев	Дозволяє описувати взаємозв'язки вищого порядку	Працює тільки для полідерев
Алгоритми узгодження	Ефективні для розріджених мереж з невеликими циклічними розрізами	Мінімізація циклічних розрізів є NP-складною задачею
Алгоритм реверсування ребра (дуги)	Гарантує знаходження оптимального рішення	Реверсування дуг потребує неформального перевизначення ймовірностей подій у окремих вузлах, що зазвичай є складним завданням
Алгоритм елімінації	Оптимальне впорядкування елімінації дозволяє зменшення складності алгоритму	Проблема знаходження оптимального впорядкування елімінації є NP-складною задачею

Продовження таблиці 1.2

1	2	3
Символічний алгоритм	Дає можливість працювати з параметрами у символічній формі без визначення їх числових оцінок	Потребує використання спеціальних програм для здійснення символічних обчислень. Обчислення та спрощення символічних виразів є обчислювально дорогою задачею та стає дуже не ефективною при роботі з великими мережами або великою кількістю символічних параметрів
Дифереціальний метод	Можна обчислити відповіді на дуже широкий клас ймовірнісних запитів за сталий час	Поліноміальна мережа є експоненціального розміру
Алгоритми стохастичного вибору	Ефективні, коли вибірковий розподіл відповідає реальному спільному розподілу ймовірностей	Потребують багато часу на сходження
Алгоритми спрощення моделі	Обчислювальний час зменшується зі зменшенням станів вершини	Зменшення станів вершини може суттєво впливати на точність результатів

Продовження таблиці 1.2

1	2	3
Алгоритм циклічного поширення	Ефективний для ациклічних графів	для графів з циклами може давати слабкі результати або навіть не сходиться
Алгоритми пошуку	Ефективні тільки для сильно асиметричних поширень	Неефективні для складних багатозв'язних багаторівневих мереж, що мають вузлами з багатьма значеннями

Баєсові мережі можуть розглядатися як імовірнісні експертні системи у яких імовірнісні знання представлені топологією мережі. На сьогоднішній день існує велика кількість точних та наближених методів обчислення баєсових мереж, але усі вони у загальному випадку NP-складні, що породжує складності на шляху використання баєсових мереж для великих та дуже великих імовірнісних моделей, саме цим спричинена необхідність дослідження та розробки нових методів обчислення баєсових мереж та пристосування їх до вирішення реальних задач [81].

1.5 Аналіз методів кластеризації для розрахунку баєсових мереж

Баєсові мережі являють собою графічні структури, за допомогою яких відображаються імовірнісні відношення між змінними та здійснюється імовірнісний висновок на основі цих змінних. Завдяки своїм особливостям баєсові мережі часто використовуються у сучасних засобах теорії прийняття рішень [82]-[85].

У загальному випадку розрахунок баєсової мережі потребує обчислення

ймовірності усієї мережі та застосування маргіналізації для визначення імовірності станів окремих вершин [22].

Розглянемо таку мережу (рис. 1.4):

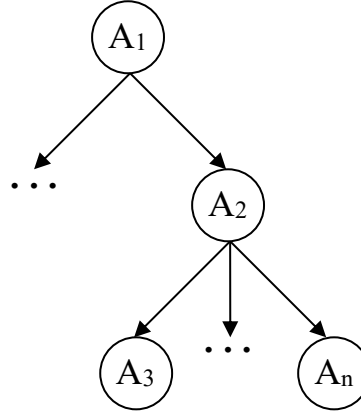


Рисунок 1.4 – Баєсова мережа

У якій: $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$, де $n \in N$ – множина вершин баєсової мережі, n – кількість вершин. $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$, де $n \in N$ – множина множин станів кожної вершини баєсової мережі. $S_i = \{s_1^i, s_2^i, \dots, s_m^i\}$, де $m \in N$, $0 < i \leq n$, $\forall i \in N$ – множина станів i -ї вершини баєсової мережі, i – номер вершини баєсової мережі.

Тоді, загальна ймовірність баєсової мережі розраховується за формулою:

$$P(A_1, A_2, \dots, A_n) = P(A_1(s_1^1) | Pa(A_1)) \cdot P(A_2(s_2^1) | Pa(A_2)) \cdot \dots \cdot P(A_n(s_n^1) | Pa(A_n)) + \\ + P(A_1(s_2^1) | Pa(A_1)) \cdot P(A_2(s_2^1) | Pa(A_2)) \cdot \dots \cdot P(A_n(s_n^1) | Pa(A_n)) + \dots + P(A_1(s_m^1) | Pa(A_1)) \cdot \\ \cdot P(A_2(s_m^2) | Pa(A_2)) \cdot \dots \cdot P(A_n(s_m^n) | Pa(A_n)) \quad (1.6)$$

Нехай, $s_j^i = j, 0 < j \leq m, \forall j \in N, 0 < i \leq n, \forall i \in N$, тоді загальна ймовірність баєсової мережі набуде вигляду:

$$P(A_1, A_2, \dots, A_n) = \sum_{s_1=1}^m \sum_{s_2=2}^m \dots \sum_{s_n=1}^m P(A_1(S_1) | Pa(A_1)) \cdot P(A_2(S_2) | Pa(A_2)) \cdot \dots \cdot P(A_n(S_n) | Pa(A_n)) = \\ = \sum_{s_1=1}^m \sum_{s_2=2}^m \dots \sum_{s_n=1}^m \prod_{i=1}^n P(A_i(S_i) | Pa(A_i)) \quad (1.7)$$

Найбільший час, який витрачається на додавання компонент загальної

ймовірності дорівнює $t = c_1 \cdot m^n$, де c_1 – час виконання однієї операції додавання. Складність такої задачі є експоненціальною: $\Theta(n) = \exp(n)$, що робить використання такого підходу на практиці неможливим для великої кількості вершин та їх станів [86]. На сьогоднішній день існує велика кількість точних та наближених методів розрахунку баєсових мереж, вони базуються на передачі повідомлень від однієї вершини до іншої уникаючи при цьому додавання великої кількості добутків умовних ймовірностей [87]. Серед точних методів розрахунку баєсової мережі найбільшого поширення набули методи кластеризації: HUGIN, Shafer-Shenoy та Lazy Propagation [63].

Архітектура Lazy Propagation є подібною до Shafer-Shenoy, оскільки ініціалізовані кліки потенціалів не оновлюються у процесі виконання алгоритму, хоча представлення клік потенціалів різняться для двох архітектур. Для Lazy Propagation характерне представлення потенціалів у вигляді декомпозиції. Елімінація змінної з підмножини відповідає інтерактивному режиму перетворення у двійкову форму вторинної обчислювальної структури. Це унікальна властивість Lazy Propagation архітектури. Повідомлення між кліками у Lazy Propagation передаються через так звані «поштові скриньки» так само як у Shafer-Shenoy архітектурі [64]. Отже, оскільки поширення повідомлень у Lazy Propagation відбувається так само, як у Shafer-Shenoy методі, то при аналізі методів кластеризації детально розглянемо методи HUGIN та Shafer-Shenoy.

HUGIN. Головною особливістю методу HUGIN є використання так званого зв'язного дерева замість баєсової мережі. Зв'язне дерево є деревом кластерів змінних (ненаправленим графом без зациклень). Кластери також називають кліками, тому, що вони є кліками триангульованого графу, що будується по баєсовій мережі [88]. Кожна кліка зберігає таблицю конфігурацій змінних, а HUGIN метод полягає у серії операцій над цими таблицями. Основним недоліком HUGIN є те, що у найгіршому випадку він буде потребувати занадто багато часу на виконання та стане неефективним, хоча він і надає точне коригування

ймовірностей. Докладний алгоритм побудови кластерного дерева викладений в [22]. Приклади кластерного дерева подано на рис. 1.5 та 1.6.

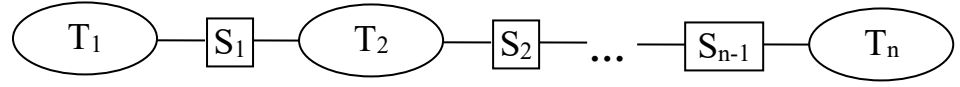


Рисунок 1.5 – Кластерне дерево

де $T_1, T_2, \dots, T_n$ – вершини відповідної баєсової мережі, $S_1, S_2, \dots, S_{n-1}$ – сепаратори (точки перетину суміжних кліків).

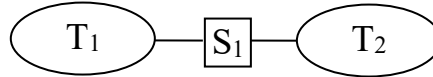


Рисунок 1.6 – Кластерне дерево

де T_1, T_2 – вершини відповідної баєсової мережі, S_1 – сепаратор (точка перетину суміжних кліків T_1, T_2).

Нехай, дано кластерне дерево (рис. 3), де $t_{T_1} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & \dots & t_{1w_1} \\ t_{21} & t_{22} & \dots & t_{2w_1} \end{bmatrix}$ та

$t_{T_2} = \begin{bmatrix} t'_{11} & t'_{12} & \dots & t'_{1w'_2} \\ t'_{21} & t'_{22} & \dots & t'_{2w'_2} \end{bmatrix}$ – відповідні таблиці значень вершин баєсової мережі,

$t_{S_1} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & \dots & t_{1w_1} \\ t_{21} & t_{22} & \dots & t_{2w_1} \end{bmatrix}$ – відповідна таблиця значень сепаратора між вершинами,

тоді алгоритм абсорбції (повідомлення між сусідніми вершинами дерева) складається з наступних кроків [22]:

1. Маргіналізація для сепаратора S_1 з таблиці t_{T_1} :

$$t_{S_1}^* = \sum_{T_1 \setminus S_1} t_{T_1} = \begin{bmatrix} t_{11} & + & t_{12} & + & \dots & + & t_{1w_1} \\ t_{21} & + & t_{22} & + & \dots & + & t_{2w_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{w_1} t_{1i} \\ \sum_{i=1}^{w_1} t_{2i} \end{bmatrix} \quad (1.8);$$

2. Присвоєння сепаратору S_1 нового значення:

$$t_{S_1}^* : t_{S_1} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{w_1} t_{1i} \\ \sum_{i=1}^{w_1} t_{2i} \end{bmatrix} \quad (1.9);$$

3. Присвоєння T_2 таблиці:

$$t_{T_2}^* = t_{T_2} \frac{t_{S_1}^*}{t_{S_1}} \quad (1.10);$$

3.1.

$$t_{T_2} \cdot t_{S_1}^* = \begin{bmatrix} t'_{11} & t'_{12} & \dots & t'_{1w'_2} \\ t'_{21} & t'_{22} & \dots & t'_{2w'_2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{w_1} t_{1i} \\ \sum_{i=1}^{w_1} t_{2i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(t'_{11} \cdot \sum_{i=1}^{w_1} t_{1i} \right) & \left(t'_{12} \cdot \sum_{i=1}^{w_1} t_{1i} \right) & \dots & \left(t'_{1w'_2} \cdot \sum_{i=1}^{w_1} t_{1i} \right) \\ \left(t'_{21} \cdot \sum_{i=1}^{w_1} t_{2i} \right) & \left(t'_{22} \cdot \sum_{i=1}^{w_1} t_{2i} \right) & \dots & \left(t'_{2w'_2} \cdot \sum_{i=1}^{w_1} t_{2i} \right) \end{bmatrix} \quad (1.11);$$

$$3.2. \quad \frac{t_{T_2} \cdot t_{S_1}^*}{t_{S_1}} = \begin{bmatrix} \left(\frac{t'_{11} \cdot \sum_{i=1}^{w_1} t_{1i}}{s_{11}} \right) & \left(\frac{t'_{12} \cdot \sum_{i=1}^{w_1} t_{1i}}{s_{11}} \right) & \dots & \left(\frac{t'_{1w'_2} \cdot \sum_{i=1}^{w_1} t_{1i}}{s_{11}} \right) \\ \left(\frac{t'_{21} \cdot \sum_{i=1}^{w_1} t_{2i}}{s_{21}} \right) & \left(\frac{t'_{22} \cdot \sum_{i=1}^{w_1} t_{2i}}{s_{21}} \right) & \dots & \left(\frac{t'_{2w'_2} \cdot \sum_{i=1}^{w_1} t_{2i}}{s_{21}} \right) \end{bmatrix} \quad (1.12);$$

У випадку коли T_2 абсорбується від T_1 через сепаратор S_1 :

$$\frac{t_{T_2}^*}{t_{S_1}} = \frac{t_{T_2}}{t_{S_1}} \quad (1.13).$$

Поширення повідомлень у HUGIN складається з двох алгоритмів: поширення доказів та збір доказів [22], [89].

Поширення доказів (Distribute Evidence). Вершина T_1 отримує доказ, далі T_1 надсилає повідомлення до усіх сусідніх вершин, які у свою чергу відсилають повідомлення до усіх сусідніх вершин, окрім тієї, від якої отримано повідомлення.

Збір доказів (Collect Evidence). У випадку, коли нам цікава лише певна вершина T_2 , тоді половини повідомлень оновлення достовірності можна уникнути: T_2 надсилає запит до усіх сусідніх вершин надіслати повідомлення, і якщо вони не можуть це зробити, тоді вони надсилають запит до усіх сусідніх вершин, крім тієї, від якої запит надійшов.

SHAFER-SHENOU. Метод Shafer-Shenou полягає у введенні доказу e у зв'язне дерево (рис. 1.7), обранні кластеру як кореня і поширенні повідомлень усередину (до кореня) та зовні (від кореня). Кластер i відсилає повідомлення кластеру j , тільки після того, як він отримав повідомлення від усіх решти сусідніх вершин k . Повідомлення від кластеру i до кластеру j є таблицею

$$M_{ij}: M_{ij} = \sum_{C_i \setminus S_{ij}} \phi_i \prod_{k \neq j} M_{ki} [90],$$

де C – змінні кластеру i ,

S – змінні сепаратора ij ,

ϕ_i – добуток усіх доказів.

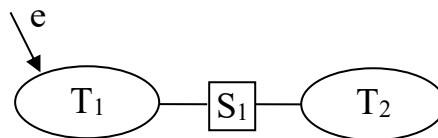


Рисунок 1.7 – Введення доказу у кластерне дерево

Таблиці конфігурацій змінних належать кластеру i . Коли поширення повідомлень закінчено, то $P_r(C_i, e) = T_i \prod_k M_{ki} [90]$.

Нехай, маємо кластерне дерево (рис. 4), тоді повідомлення від кластера T_1 до кластера T_2 обчислюється за формулою:

$$M_{T_1 T_2} = \sum_{C_{T_1} \setminus S_1} \phi_{T_1} \prod_{k \neq T_2} M_{T_2 T_1} \quad (1.14),$$

де $\phi_{T_1} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & \dots & t_{1w_1} \\ t_{21} & t_{22} & \dots & t_{2w_1} \end{bmatrix}$, $M_{T_1 T_2}$ – повідомлення від кластера T_1 до кластера T_2 ;

Маргінали для кожного кластеру:

$$C_{T_1} : Pr(C_{T_1}, e) = \phi_{T_1} \prod_1 M_{T_2 T_1} \quad (1.15),$$

$$\text{де } \sum_{C_{T_1} \setminus S_1} \phi_{T_1} = \begin{bmatrix} t_{11} & + & t_{12} & + & \dots & + & t_{1w_1} \\ t_{21} & + & t_{22} & + & \dots & + & t_{2w_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{w_1} t_{1i} \\ \sum_{i=1}^{w_1} t_{2i} \end{bmatrix}.$$

Тоді, повідомлення від кластера T_1 до кластера T_2 обчислюється:

$$M_{T_1 T_2} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{w_1} t_{1i} \\ \sum_{i=1}^{w_1} t_{2i} \end{bmatrix} \prod_{k \neq T_2} M_{T_2 T_1} \quad (1.16);$$

Маргінал для кожного кластеру:

$$C_{T_1} : Pr(C_{T_1}, e) = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & \dots & t_{1w_1} \\ t_{21} & t_{22} & \dots & t_{2w_1} \end{bmatrix} \prod_1 M_{T_2 T_1} \quad (1.17).$$

HUGIN метод більш ефективний за використання на випадкових зв'язних деревах, оскільки уникає надлишкових обчислень Shafer-Shenoy методу. Однак дана ефективність досягається за рахунок обмеження кількості питань на які HUGIN метод здатний відповісти [91]. Архітектура ж Shafer-Shenoy є обчислювально ефективнішою ніж HUGIN, оскільки на відміну від HUGIN архітектури не використовує операцій додавання та вхідні потенціали залишаються незмінними протягом процесу поширення. У архітектурі HUGIN у процесі внутрішньої передачі повідомлень, відправник не ділить повідомлення. У зовнішній передачі, сепаратор ділить зовнішнє повідомлення на повідомлення, збережені перед передачею їх до множення на потенціали отримуючих вузлів. Ця

стратегія ігнорує обчислювальні витрати на розпізнання найменшого сепаратора або кліки, що має змінну [92]. Також важливою відмінністю Shafer-Shenoy та HUGIN методів є те, що у Shafer-Shenoy потік повідомлень не контролюється обранням кореня зв'язного дерева. Кліки асинхронно посилають повідомлення до одного із сусідів, після того, як повідомлення від усіх інших сусідів вже отримані [93].

Експериментальні дослідження методів кластеризації показали, що кожен з них є ефективним для визначеної топології мережі, її розміру, ефективність методів може бути підвищена через використання існуючих або нових технологій підвищення швидкодії алгоритмів [93], [94].

Усі методи кластеризації для розрахунку баєсових мереж використовують переваги кластерного дерева. Однак, на сьогодні не існує оптимального методу кластеризації для загального випадку баєсової мережі. Кожен метод дозволяє обчислити тільки обмежений діапазон структури баєсової мережі, що значно обмежує можливості застосування таких методів на практиці та породжує необхідність детальнішого дослідження та модифікації методів кластеризації для обчислення баєсових мереж.

1.6 Постановка задачі

Процес формування групових рішень у розподілених системах являє собою комплексну задачу, що містить такі основні складові: вибір методу підтримки прийняття групових рішень, вибір технології реалізації методу прийняття групових рішень, вибір мережевої технології з'єднання користувачів системи та вибір способу реалізації взаємодії між користувачами системи. Тому, проаналізувавши системи підтримки прийняття рішень, методи прийняття рішень, що використовуються у таких системах, методи обчислення баєсових мереж та методи кластеризації для обчислення баєсових мереж поставимо такі загальні

задачі дослідження:

1. Формалізувати параметри моделі та сформувати інформаційну модель розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень.
2. Розробити інформаційну технологію прийняття групових рішень у розподілених системах.
3. Розробити алгоритмічні засоби розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень.
4. Розробити підхід до програмної реалізації системи підтримки прийняття групових рішень.

1.7 Висновки до розділу 1

Під час аналізу сучасних систем підтримки прийняття групових рішень визначено та порівняно між собою три основних типи систем, які використовуються в умовах невизначеності: системи засновані на правилах, системи засновані на нейронній мережі та системи засновані на баєсовій мережі. У результаті проведеного аналізу визначено системи засновані на баєсовій мережі, які на відміну від інших систем, не лише дозволяють отримати найбільш ймовірне рішення, а ще й наступне більш ймовірне рішення та визначити, при яких припущеннях про область даних, що досліджується, запропоноване рішення буде найбільш ймовірним.

Проведений огляд та аналіз принципів групового вибору альтернатив у системах підтримки прийняття рішень показав особливості їх реалізації, які повинні враховувати інтегральну оцінку дій користувачів з урахуванням коаліцій та множини дій кожного користувача системи підтримки прийняття групових рішень на кожному етапі групового вибору.

У результаті аналізу методів прийняття групових рішень наведено класифікацію задач прийняття рішень та визначено доцільність розгляду методів

прийняття рішень для статичних однокритеріальних та багатокритеріальних задач, що дозволяють одночасно враховувати рішення багатьох користувачів.

Проведений огляд методів обчислення баєсових мереж дозволив виділити точні та наближені методи, визначити особливості їх використання та показав, що кожен метод дозволяє обчислити лише обмежений діапазон структури баєсової мережі, що значно обмежує можливості застосування таких методів на практиці та породжує необхідність детального дослідження та модифікації методів обчислення баєсових мереж.

Результати аналізу дають змогу оцінити застосування баєсівського підходу для навчально-тестових систем підтримки прийняття групових рішень та перспективи розвитку методів обчислення баєсових мереж для підвищення ефективності роботи таких систем [33], [95]-[97].

Визначено загальні задачі дослідження.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ПРИЙНЯТТЯ ГРУПОВИХ РІШЕНЬ У РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ

Проведене дослідження сучасних систем та методів підтримки прийняття групових рішень дає змогу оцінити застосування баєсових мереж для розподілених систем підтримки прийняття групових рішень та перспективи їх розвитку для підвищення ефективності процесу прийняття рішень у таких системах.

Для цього необхідно ідентифікувати та формалізувати параметри інформаційної моделі процесу прийняття групових рішень у розподілених системах, розробити інформаційну модель та визначити загальні принципи побудови і обчислення баєсових мереж.

2.1 Математична постановка задачі прийняття групових рішень

Враховуючи проведений огляд та у результаті наведеного у першому розділі аналізу обумовлено доцільність використання баєсових мереж та методу більшості для випадку підтримки прийняття групових рішень в умовах невизначеності. Тому у системі, що розроблятиметься, основна увага буде приділятися методам прийняття рішень за методом більшості та прийняття рішень за допомогою використання баєсової мережі. Обидва ці методи мають свої особливості застосування та призначення. Розглянемо дані методи детальніше.

Головна мета використання методу більшості у системах підтримки прийняття групових рішень – спостереження за поведінкою групи осіб, їх

можливістю та бажанням взаємодії для досягнення спільної мети, перевірка знань користувачів.

Головна мета використання баєсових мереж у системах підтримки прийняття групових рішень – уникнення недоліків методу більшості, тобто ліквідація конфліктних ситуацій, що призводять до повторного прийняття одного і того ж рішення у випадку, коли більшість не сформована, можливість враховувати рішення кожного користувача із групи користувачів, не викликаючи при цьому конфліктних ситуацій, здійснення навчання користувачів.

Розподілені системи підтримки прийняття групових рішень призначені забезпечувати спільну роботу користувачів та надавати їм можливість взаємодіяти між собою у режимі реального часу [98]-[101]. Для більшої мобільності і гнучкості системи та з'єднання користувачів, що територіально розподілені необхідно використовувати новітні технології, що дозволяють поєднувати користувачів у єдину мережу [75], [102]. При цьому необхідно також враховувати можливі затримки у часі для прийняття рішень, що виникають під час використання розподілених технологій.

Із вищенаведеного зрозуміло, що процес підтримки прийняття групових рішень у такій системі містить велику кількість елементів, які необхідно врахувати при розробці систем підтримки прийняття групових рішень, особливо якщо ці системи дозволяють з'єднувати користувачів, що територіально розподілені. У зв'язку з цим виникає необхідність ідентифікації та формалізації цих елементів шляхом розробки інформаційної моделі системи [103], [104]. Для цього спочатку необхідно визначити вхідні, вихідні параметри такої моделі та взаємозв'язок між ними.

Визначимо вхідні параметри моделі:

$C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ – множина мережі комп'ютерів користувачів;

$Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ – кількість активних з'єднань;

$U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ – множина користувачів;

$V = \{v_1, v_2\}$ – варіанти методу групового вибору користувачів;

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ – множина доступних альтернатив;

$L = \{l_1, l_2, \dots, l_n\}$ – множина причинно-наслідкових зв'язків між

альтернативами;

$T_u = \{t_{1u}, t_{2u}, \dots, t_{nu}\}$ – час прийняття рішень користувачами;

$T_d = \{t_{1d}, t_{2d}, \dots, t_{nd}\}$ – час затримки відповіді системи на дії користувача;

$T_s = \{t_{1s}, t_{2s}, \dots, t_{ns}\}$ – час реалізації групового вибору користувачів у

процесі прийняття рішення;

T_g – загальний час роботи системи у процесі прийняття комплексного рішення.

Вихідним параметром моделі визначимо комплексне рішення користувачів, що являє собою множину усіх прийнятих рішень $D_g = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$.

Для більш наглядного представлення моделі вхідних та вихідних параметрів системи, а також для ідентифікації відповідних взаємозв'язків, сформуємо структурну схему такої моделі (рис. 2.1):

Серед вхідних параметрів системи особливо варто відмітити Z – кількість активних з'єднань, оскільки Z не завжди буде дорівнювати U – множині мережі користувачів та C – множині мережі комп'ютерів користувачів. Дана особливість пояснюється тим, що на одному комп'ютері користувача може одночасно виконуватись декілька копій програми клієнта, тому існує можливість використання одного комп'ютера для підтримки прийняття групових рішень декількох користувачів. Дана властивість дозволяє розширити сферу застосування

системи у випадку обмежених апаратних засобів, оскільки особисті переваги користувачів будуть враховані системою навіть у випадку одночасного використання одного і того ж комп'ютера.

При цьому необхідно кожному користувачеві присвоїти унікальний ідентифікатор для того, щоб правильно оцінювати та аналізувати дії кожного конкретного користувача.

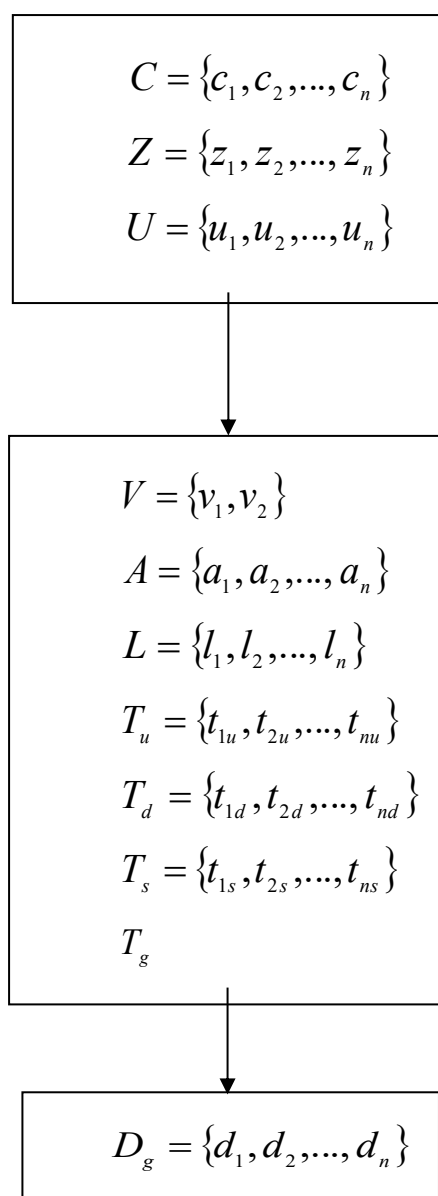


Рисунок 2.1 – Структурна схема розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень

Серед параметрів взаємозв'язків розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень варто зупинитися на T_u - часі прийняття рішень користувачами, T_d - часі затримки відповіді системи на дії користувача, T_s - часі реалізації групового вибору користувачів у процесі прийняття рішення та T_g - загальному часі роботи системи у процесі прийняття комплексного рішення, оскільки вони є основними складовими що формують загальну швидкодію роботи системи.

Отже, на основі визначених вхідних та вихідних параметрів системи, їх елементарних складових і після надання їм відповідних зв'язків можна побудувати інформаційну модель розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень.

2.2 Розробка інформаційної моделі розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень

Отже, на основі отриманих вхідних та вихідних елементів розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень, визначивши їх вплив, взаємодію та взаємозв'язки сформуємо інформаційну модель такої системи. Позначимо інформаційну модель розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень M_s та подамо її у вигляді кортежу наступних параметрів системи [65], [88], [189]:

$$M_s = \{A_0, C, Z, U, V, A, L, T_g, M, D_g, H, \Psi\} \quad (2.1).$$

Для більш точного математичного викладення інформації, визначимо основні параметри кортежу інформаційної моделі, їх характеристики, обмеження та взаємозв'язки між ними:

A_0 – головна мета роботи розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень – оптимального рішення у конкретний момент часу;

$C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$, $n = \overline{1, N_c}$ – множина мережі комп'ютерів користувачів;

$Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$, $n = \overline{1, N_z}$ – кількість активних з'єднань;

$U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, $n = \overline{1, N_u}$ – множина користувачів;

$V = \{v_1, v_2\}$ – варіанти методу групового вибору користувачів, де

v_1 – груповий вибір за методом більшості,

v_2 – груповий вибір за допомогою баєсової мережі;

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, $n = \overline{1, N_a}$ – доступних альтернатив;

$L = \{l_1, l_2, \dots, l_n\}$, $n = \overline{1, N_l}$ – множина причинно-наслідкових зв'язків між

альтернативами;

Визначимо взаємозалежності для часу прийняття рішень користувачами, системою та загального часу роботи системи з врахуванням дій користувачів:

$$T_g = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N_u} t_{uij} + \sum_{k=1}^M t_{sk} + \sum_{k=1}^M t_{dk} \quad - \text{ загальний час роботи системи у процесі}$$

прийняття комплексного рішення, де

$T_u = \{t_{1u}, t_{2u}, \dots, t_{nu}\}$, $n = \overline{1, N_u}$ – час прийняття рішень користувачами;

$T_s = \{t_{1s}, t_{2s}, \dots, t_{ns}\}$, $n = \overline{1, M_s}$ – час прийняття рішень системою;

$T_d = \{t_{1d}, t_{2d}, \dots, t_{nd}\}$, $n = \overline{1, N_d}$ – час затримки відповіді системи на дії

користувача;

M – кількість ітерацій прийняття рішень для прийняття кінцевого комплексного рішення;

$D_g = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$, $n = \overline{1, N_d}$ – комплексне рішення користувачів, що являє собою множину усіх прийнятих рішень за час T_g .

$H: U \times A \times L \rightarrow D$ – оператор моделювання, який характеризує відношення множини альтернатив до множини зв'язків.

Оператор оцінки показника ефективності Ψ співвідносить множину вихідних характеристик моделі D_g до множини значень коефіцієнта відповідності обраних альтернатив прийнятому рішенню системи.

$$\Psi = \begin{cases} \sigma = \sqrt{\frac{1}{N_u} \sum_{i=1}^{N_u} (k_i - \bar{k})^2} \rightarrow \max, \\ T_g = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N_u} t_{uj} + \sum_{k=1}^M t_{sk} + \sum_{k=1}^M t_{dk} \rightarrow \min \end{cases} \quad (2.2),$$

де σ – коефіцієнт відповідності обраних альтернатив, який розраховують за допомогою проміжних коефіцієнтів $k_i: k_i = \frac{N_V}{N_A}$,

де $n = \overline{0,1}$;

N_V – кількість прийнятих рішень, які відповідають найбільш ймовірним альтернативам;

N_A – загальна кількість альтернатив.

Коефіцієнт $\bar{k}$ знаходять як середнє арифметичне значень проміжних коефіцієнтів $k_i: \bar{k} = \frac{1}{N_u} \sum_{i=1}^{N_u} k_i$.

Для визначення відношення множини альтернатив до множини зв'язків $H: U \times A \times L \rightarrow D$ незалежно від обраного методу групового вибору використовуються методи побудови та виводу баєсових мереж.

2.3 Загальні принципи побудови та обчислення баєсової мережі

Для коригування ймовірностей у баєсових мережах використовується алгоритм зв'язного дерева. Основною особливістю роботи алгоритму зв'язного дерева є те, що даний алгоритм працює не безпосередньо з баєсовою мережею, а з

так званим зв'язним деревом, яке являє собою дерево з групою змінних. Групи змінних також називаються кліками, тому що вони є кліками у триангульованому графі (спеціальному графі, який будується по мережі). Кожна кліка зберігає таблицю з конфігураціями її змінних і алгоритм зв'язного дерева полягає у проведенні серії операцій над цими таблицями [26].

Алгоритм зв'язного дерева дозволяє створювати системи підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності на основі моделей проблемної області. Алгоритм орієнтований на побудову моделей на основі теорії мереж баєса [82], [84], [85]. Для випадку використання у системі підтримки прийняття рішень даний алгоритм був модифікований. Розглянемо принципи роботи алгоритму.

Алгоритм зв'язного дерева полягає у виконанні послідовності з трьох основних кроків: трансформації, ініціалізації та коригування ймовірностей. Перші два кроки є якісними та виконуються лише один раз, останній крок є кількісним та виконується декілька разів [86]. Розглянемо кожен з кроків детальніше.

Трансформація структури включає в себе такі етапи: моралізація, тріангуляція та побудова зв'язного дерева. Моралізація є ключовим етапом алгоритму зв'язного дерева. Процес моралізації полягає у приведенні графа до вигляду морального графа. Моральний граф є поняттям теорії графів, який використовується для пошуку еквівалентної неорієнтованої форми орієнтованого ациклічного графа.

Моральний граф орієнтованого ациклічного графа формується за допомогою утворення неорієнтованого графа, шляхом з'єднання вершин, які мають спільних нащадків та зміни орієнтованих зв'язків на неорієнтовані [90], [91]. Графічне представлення процесу моралізації графа подано на рис. 2.2 та рис. 2.3, пунктирною лінією виділені зв'язки між вершинами, що мають спільних нащадків.

Процес тріангуляції полягає у приведенні неорієнтованого графу до вигляду при якому кожен з його циклів, які утворюють вершини, довжиною більше або

рівно 4 має хорду [92]. Приклад приведення графу до триангульованого виду подано на рис. 2.4 та рис. 2.5.

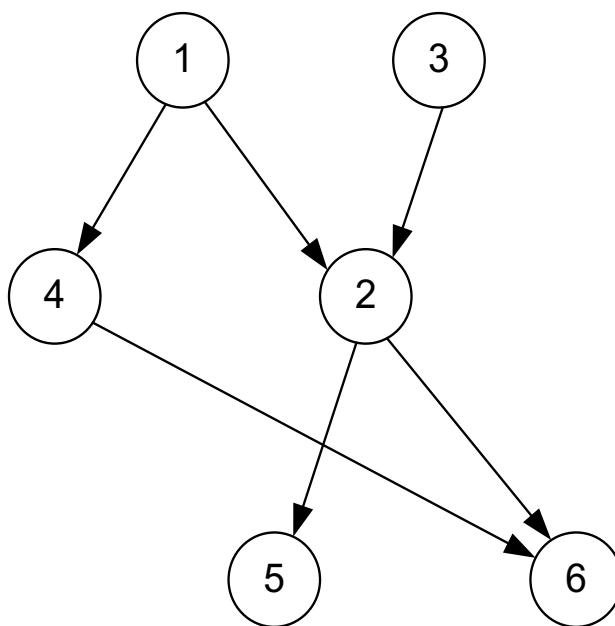


Рисунок 2.2 – Орієнтований ациклічний граф

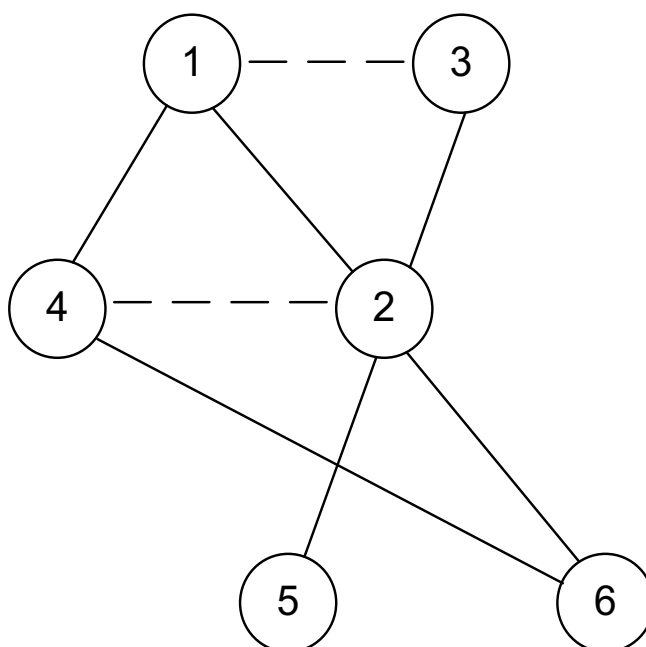


Рисунок 2.3 – Моралізований граф

Процес побудови зв'язного дерева являє собою приведення графа до вигляду дерева, що може бути використане для пришвидшення вирішення певних проблем на графі оригіналі (рис. 2.6, рис. 2.7).

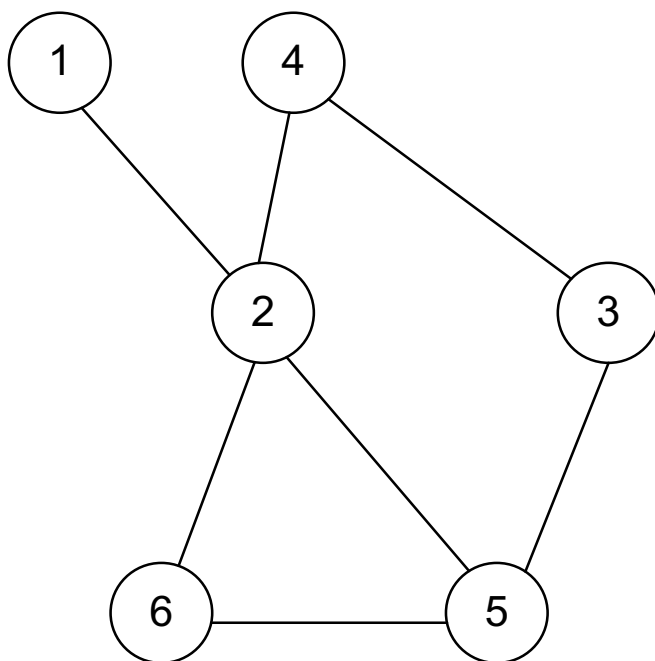


Рисунок 2.4 – Неорієнтований граф

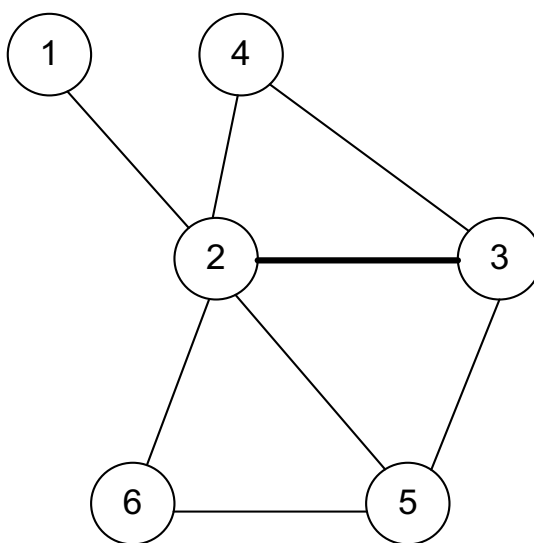


Рисунок 2.5 – Тріангульований граф

Ширина дерева вимірюється числом вершин графа, нанесених на будь-який вузол оптимальної декомпозиції дерева.

Декомпозиція дерева дозволяє представити вершини графа у вигляді піддерева дерева таким чином, що його вершини будуть суміжними тільки тоді, коли відповідні піддерева перетинатимуться [92]. Ініціалізація змінних включає в себе етап встановлення потенціалів та етап поширення потенціалів [93].

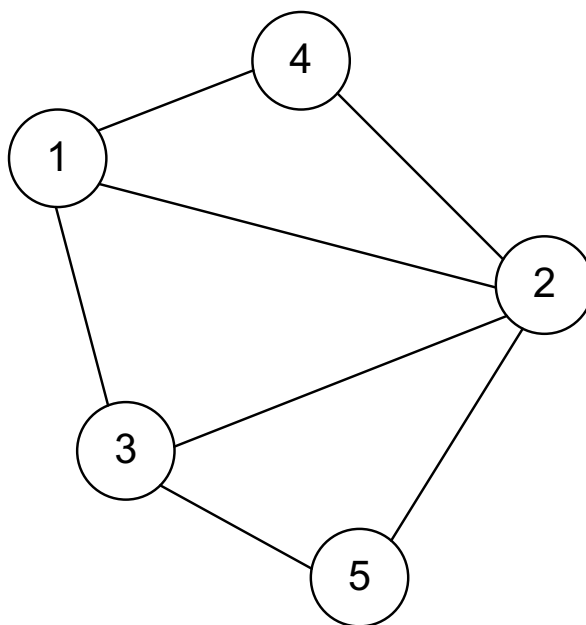


Рисунок 2.6 – Неорієнтований граф

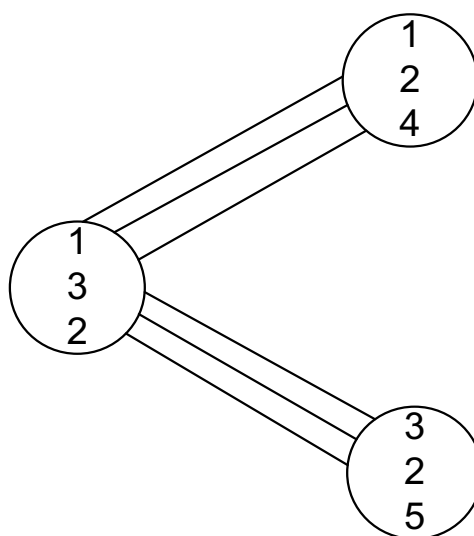
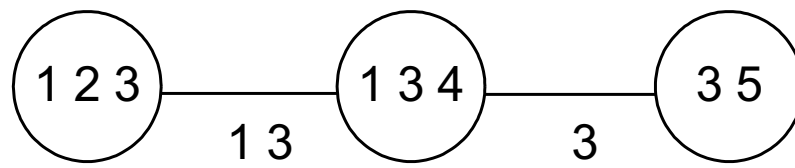


Рисунок 2.7 – Зв'язне дерево

Етап встановлення потенціалів полягає у виконанні наступних кроків: встановлення усіх потенціалів у відповідність, для кожної змінної X_i , обирається одна вершина (кліка) у зв'язному дереві, яка вміщує саму змінну та її предки, $pa(X_i)$, у орієнтованому ациклічному графі та множення потенціалів $P(x_i | pa(x_i))$. Графічне представлення процедури ініціалізації потенціалів подано на рис. 2.8.



$$\phi_{123} = P(1 | 2)P(1 | 2)P(2)$$

$$\phi_{234} = P(4 | 1,3)$$

$$\phi_{35} = P(x | 3)$$

Рисунок 2.8 – Графічне представлення процедури ініціалізації потенціалів

На етапі поширення потенціалів об'єднаний розподіл ймовірностей може бути представлений у вигляді потенційних функцій, визначених на кожній кліці та на кожному розподілювачі зв'язного дерева. Об'єднаний розподіл визначається

за формулою:
$$p(x) = \frac{\prod_{c \in C} \phi_c(x_c)}{\prod_{s \in S} \phi_s(x_s)}.$$

Головна ідея даного процесу полягає у перетворенні одного представлення об'єданого розподілу в інший, в якому, для кожної кліки, C , потенціальна функція надає граничний розподіл для змінних у C : $\phi_c(x_c) = P(x_c)$.

Дана процедура також прийнятна для розподілювачів S . Розподілювач S асоціюється з кожним ребром та вміщує змінні у точці перетину між сусідніми вершинами.

Коригування ймовірностей складається з етапу установки доказів у зв'язне дерево та поширення потенціалів.

Етап установки доказів у зв'язне дерево полягає у введенні у зв'язне дерево нової інформації про випадкову змінну, яка змінює наші уявлення про своє розподілення. Етап поширення потенціалів полягає у проведенні глобального коригування потенціалів та приведення їх у відповідність з новими даними у зв'язному дереві.

Перерахунок ймовірностей після введення нової інформації відбувається наступним чином.

Нехай, A є змінною з розподілом $P(A) = (x_1, \dots, x_n)$. В процесі роботи система отримує інформацію e про те, що змінна A може бути тільки у станах i або j . $P(e)$ – попередня ймовірність e .

Тоді, для визначення умовної ймовірності використовується фундаментальне правило:

$$P(A|e) = \frac{P(A,e)}{P(e)} = \frac{P(A,e)}{\sum_A P(A,e)}.$$

Нехай U – множина змінних і існує розподіл ймовірностей $P(U)$ – таблиця загальних ймовірностей, тоді для будь-якої змінної B з множини U можна визначити:

$$P(B) = \sum_{U \setminus (B)} P(U).$$

Для введення у систему нової інформації, використовуємо:

$$P(U|e) = \frac{P(U,e)}{P(e)} = \frac{P(U,e)}{\sum_U P(U,e)},$$

де $P(U,e)$ – матриця отримана з матриці $P(U)$ встановленням нульових значень, які відповідають A , яке не знаходиться в станах i або j . Інші значення залишаються незмінними.

Баєсові мережі мають безліч практичних застосувань [86,] [105], [106]. Широкого використання мережі набули у медичній діагностиці, де вони можуть надати ймовірності різних захворювань за наявними симптомами, у діагностиці несправностей апаратних засобів, де користувачі за наявними ознаками несправностей можуть знайти найймовірнішу їх причину, у автоматичному розпізнаванні мови, у фільтрації небажаної електронної пошти (спаму), у моделюванні знань при адаптивному тестуванні студентів по заданій дисципліні [107]-[111]. Прикладом застосування баєсових мереж може також слугувати їх використання при побудові програмного коду для визначення правильної послідовності модулів та функцій програмного коду шляхом формування ймовірностей їх появи.

Баєсову мережу, яка ілюструє зв'язне дерево ймовірностей появи елементів програмного коду подано на рис. 2.9.

Розглянемо основні елементи, зображені на рис. 2.9 детальніше. У вигляді еліпсу  позначаємо функцію, як структурний елемент конкретної альтернативи тестового коду для вибору користувачів. Над еліпсами наведено скорочений зміст відповідної функції чи будь-якого іншого елемента програмного коду (бібліотеки, визначення і т.і.). Для прикладу, елемент Define1 містить у собі виклик функції LRESULTCALLBACKWndProc з параметрами: HWND, _UNIT, WPARAM, LPARAM.

Червоним кольором на рисунку позначені апріорні ймовірності появи відповідного компонента програмного коду: . У даному випадку ймовірність появи елемента Include1, який містить у собі бібліотеку #include "stdafx.h" складає 0.6. Зеленим кольором відповідно позначені ймовірності не появи відповідного елемента програмного коду . Отже у даному випадку ймовірність не появи елемента Function_decl4, який містить у собі виклик

функції LRESULTCALLBACK дорівнює 0.411416. За допомогою стрілок-показників вказано напрямки взаємозалежностей зв'язків між елементами баєсової мережі та їх взаємодія.

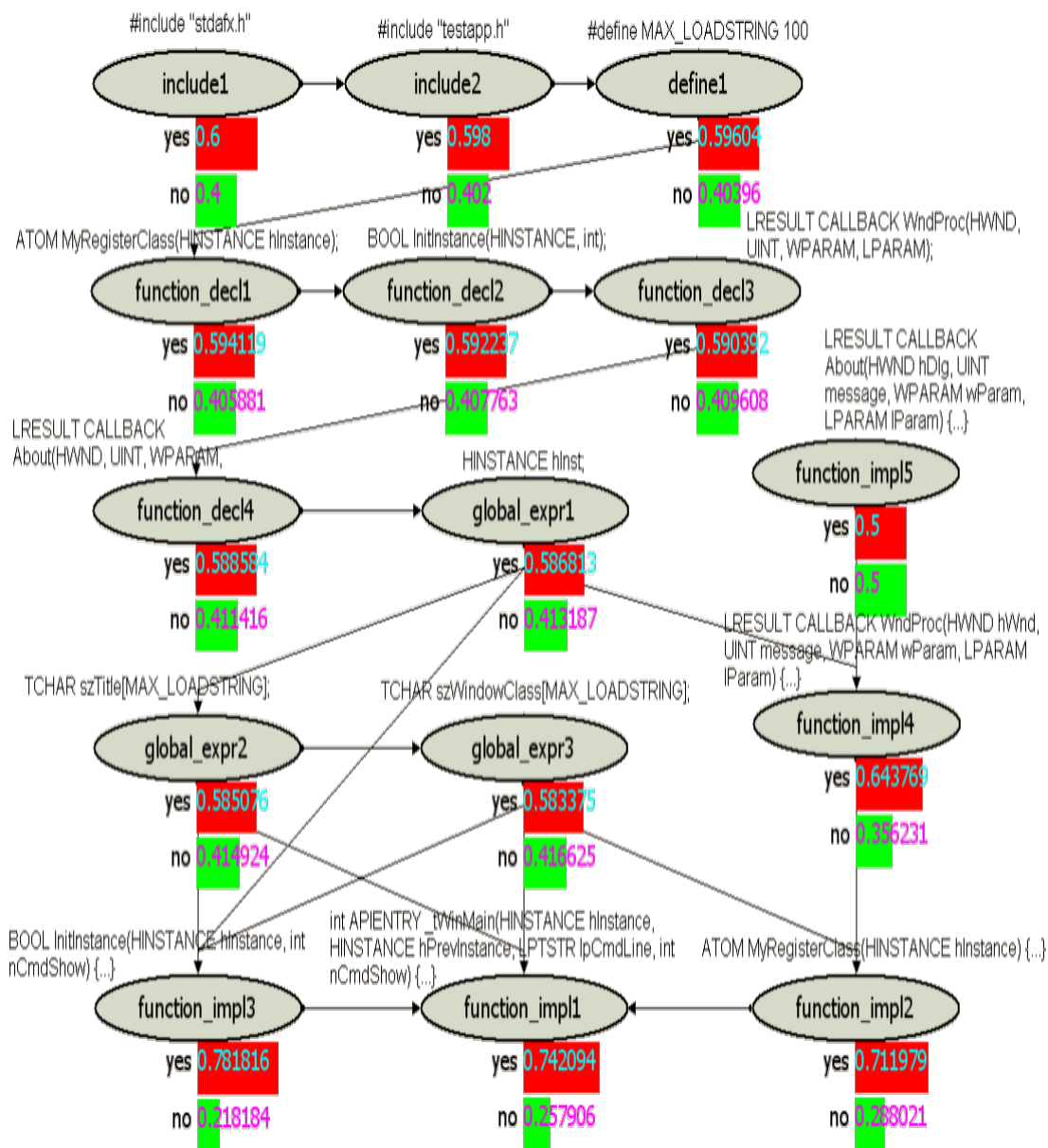


Рисунок 2.9 – Баєсова мережа ймовірностей появи елементів програмного коду

Для прискорення обчислення баєсової мережі використовуються методи кластеризації, зокрема, для пошуку центроїдів кластерів використовується метод медіани Кемені.

2.4 Висновки до розділу 2

Для врахування усіх компонентів процесу прийняття групових рішень у розподілених системах проведено їх ідентифікацію та формалізацію. Визначено вхідні та вихідні параметри комплексної інформаційної моделі, їх елементарні складові та визначено взаємозв'язок між ними.

Розроблено комплексну інформаційну модель системи, детально наведено її основні параметри та характеристики. Окремо визначено параметри які формують загальну швидкодію роботи системи. Обґрунтовано, що для визначення відношення множини альтернатив до множини зв'язків, незалежно від обраного методу групового вибору використовуватимуться методи побудови та виводу баєсових мереж.

Визначено загальні принципи побудови баєсових мереж та перерахунку ймовірностей у баєсових мережах. Обґрунтовано використання алгоритму зв'язного дерева для систем підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності на основі моделей проблемної області. Наведено розроблений модифікований алгоритм, який орієнтований на побудову моделей на основі баєсових мереж. Наведено галузі практичних застосувань баєсових мереж та побудовано баєсову мережу, яка ілюструє зв'язне дерево ймовірностей появи елементів програмного коду.

Визначено основні принципи підтримки спільної роботи користувачів, що територіально розподілені. Дослідження систем підтримки прийняття групових рішень з використанням розподілених технологій, що дозволяють з'єднувати користувачів у єдину мережу для виконання спільних дій, допомагає виявити особливості реалізації та функціонування таких систем, а також шляхи вирішення проблемних питань для отримання ефективних рішень [112], [113]

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ ГРУПОВИХ РІШЕНЬ

На основі запропонованої інформаційної моделі процесу прийняття групових рішень, алгоритмічних, апаратних, модульних та програмних засобів розроблено інформаційну технологію. Розроблено загальний принцип та алгоритм роботи розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень на основі інформаційної технології, основні модулі та програмні об'єкти забезпечення функціонування такої системи.

3.1 Загальні принципи реалізації інформаційної технології у розподілених системах підтримки прийняття групових рішень

Інформаційна технологія визначається як сукупність методів, засобів, прийомів, що забезпечують пошук, збирання, зберігання, опрацювання, подання, передавання відомостей між людьми на основі електронних засобів, комп'ютерної техніки та зв'язку [114].

Для випадку використання у процесах підтримки прийняття групових рішень, інформаційна технологія може бути визначена як сукупність методів, засобів, моделей, алгоритмів, програм та методик, що забезпечують опрацювання переваг користувачів та надають можливість підтримки прийняття групових рішень з метою підвищення їх ефективності, особливо під час їх реалізації у розподілених системах.

Розподілена система підтримки прийняття групових рішень це – інтерактивна автоматизована система, яка дозволяє користувачам спільно та одночасно використовувати інформацію для ідентифікації, вирішення задач і

прийняття групових рішень за допомогою набору незалежних комп'ютерів, що являють собою єдину, об'єднану систему [115], [116].

Основною перевагою таких систем є можливість об'єднувати обчислювальні ресурси територіально розподілених комп'ютерів користувачів у мережу для забезпечення ефективності процесу прийняття групових рішень. Основним недоліком таких систем є необхідність врахування великої кількості факторів, що впливають на працездатність системи (конфліктні ситуації, затримки і т.д.) [117]-[120].

Реалізація розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень базується на розробленій інформаційній технології та складається з інформаційної моделі, алгоритмічних, апаратних, модульних та програмних засобів, дозволяючи здійснювати програмну обробку вхідних даних від користувачів надаючи можливість користувачам приймати групові рішення з підвищеною ефективністю [119]-[122].

Розглянемо основні завдання розробленої інформаційної технології та компоненти її реалізації у розподіленій системі підтримки прийняття групових рішень.

Основними завданнями розробленої інформаційної технології є:

- Постановка задачі процесу прийняття рішень.
- Ідентифікація користувачів.
- Організація процесу прийняття рішень (вибір методу групового вибору, формування множини альтернатив рішень залежно від обраного методу рішень, забезпечення методу більшості під час прийняття рішень, формування баєсової мережі, визначення ймовірностей появи елементів альтернатив, забезпечення роботи системи за допомогою баєсової мережі і т.д.).
- Фіксування результатів роботи користувачів (визначення кількості правильних та неправильних рішень).

Загальну схему реалізації такої інформаційної технології подано на рис. 3.1.

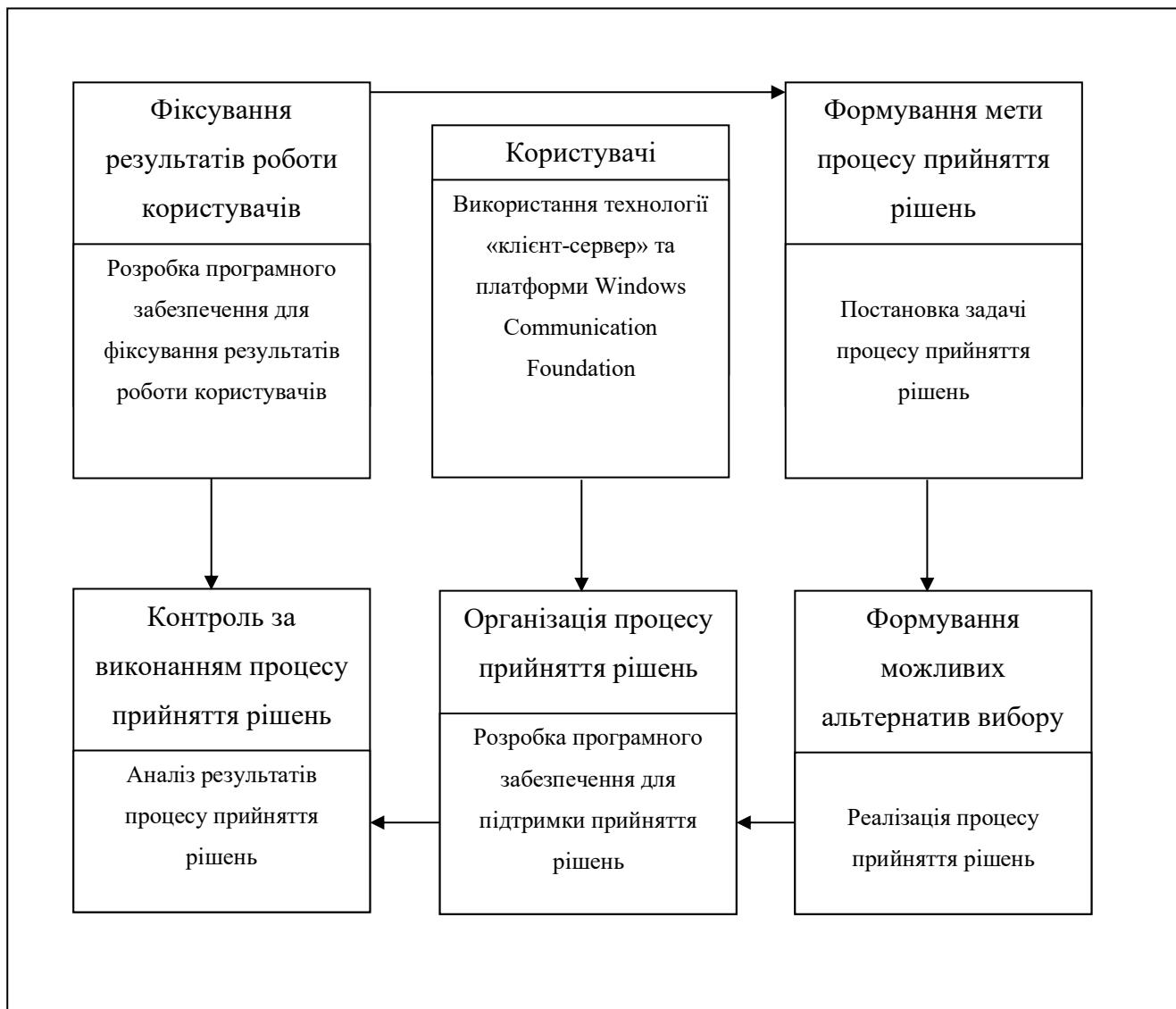


Рисунок 3.1 – Загальна схема реалізації інформаційної технології підтримки прийняття групових рішень

Розроблена технологія у загальному вигляді може бути використана для широкого кола задач, але найбільш ефективною вона буде для задач, які потребують аналітичних вхідних наборів даних та переваг експертів для визначення оптимального порядку дій.

Одним з прикладів використання розробленої інформаційної технології у медичній сфері може слугувати її реалізація для консилиуму лікарів коли необхідно прийняти рішення про найбільш ймовірні діагнози на основі статистичних даних про ймовірні діагнози за наявними симптомами.

У даному випадку поєднуються аналітичні дані, які дозволяють розглядати лише найбільш ймовірні діагнози на кожному етапі аналізу симптомів та експертних знань лікарів, які на основі свого досвіду у різних галузях медицини визначають ймовірні діагнози та необхідне лікування у випадку коли можливі декілька діагнозів.

Розроблена технологія також може ефективно використовуватися для прийняття рішень групою експертів про можливі причини складних неполадок на виробництві, коли відомі статистичні дані про найбільш ймовірні причини та використовується досвід користувачів-експертів, які за наявними статистичними даними та характером неполадок визначають наймовірніші причини та шляхи їх усунення.

Перевагами розробленої інформаційної технології є можливість поєднання існуючих статистичних, аналітичних або історичних даних з досвідом користувачів експертів які приймають групові рішення у випадку коли одноособове рішення не достатнє або недоцільне. Незалежно від обраної галузі розроблена інформаційна технологія адаптується та забезпечить розгляд лише найбільш ймовірних альтернатив на кожному етапі прийняття рішень користувачами.

Унікальною особливістю розробленої інформаційної технології є елемент навчання, який може використовуватися на кожному етапі прийняття рішень користувачами. Наприклад, під час реалізації у медичній сфері, інформаційна технологія може на основі вхідних статистичних даних пропонувати найбільш ймовірні діагнози за певним набором симптомів, що допоможе навчати студентів-медиків.

Ще однією унікальною особливістю розробленої інформаційної технології є її реалізація у двох режимах роботи, за методом більшості та з використанням баєсової мережі. Метод більшості може використовуватись у випадку коли важливий консенсус при прийнятті рішень користувачами, а режим з використанням баєсової мережі – коли важливий найбільш ймовірний варіант розвитку подій за перевагами користувачів.

У розробленому алгоритмі роботи інформаційної технології також реалізовано принципи колективної взаємодії, які дозволяють використовувати декілька пристроїв вводу інформації на одному комп'ютері, що дозволяє декільком користувачам ділити апаратні засоби комп'ютерів у випадку, коли їх кількість обмежена.

Ще одним прикладом застосування розробленої інформаційної технології можна виділити забезпечення спільної роботи користувачів над побудовою програмного коду [123]. Процес побудови програмного коду складається з декількох етапів. На виконання кожного етапу користувачам відводиться певна кількість часу, по закінченні якого відбувається фіксація результатів прийнятих рішень та аналіз кількості правильних та хибних дій кожного користувача.

Інформаційна технологія забезпечує функціонування двох режимів роботи групового вибору: за методом більшості та з використанням баєсової мережі, що дозволяє порівняти ефективність прийнятих рішень та кількість конфліктних ситуацій, які виникають у процесі прийняття рішень [124].

Використання математичного апарату баєсових мереж дозволяє приймати комплексне рішення на основі перерахунку апіорних ймовірностей появи блоків тестового програмного коду та рішень користувачів.

Кожне рішення або перевага користувача впливає на загальне рішення користувачів. Це відбувається шляхом введення нових доказів у сформовану баєсову мережу.

Кожна підтверджена рішенням користувача альтернатива збільшує ймовірність появи наступних пов'язаних з нею та залежних від неї альтернатив. Дане правило діє і у протилежному напрямку: тобто, кожна не підтверджена альтернатива зменшує ймовірність появи наступних залежних від неї альтернатив.

Після кожного етапу прийняття рішень користувачами відбувається модифікація баєсової мережі у відповідності з введеними доказами користувачів. Дана процедура ідентична для обох режимів підтримки прийняття рішень: з використанням баєсової мережі та за методом більшості.

Таким чином, розроблена інформаційна технологія може використовуватись для забезпечення елементів навчання правильної послідовності побудови програмного продукту, а також перевірку знань користувачів у галузі розробки програмного забезпечення.

Дана особливість розробленої інформаційної технології дозволить використовувати її реалізацію у навчальному процесі, оскільки забезпечить можливість дистанційного навчання та контролю знань студентів [125].

Розподілена система підтримки прийняття групових рішень на основі розробленої інформаційної технології також дозволить одночасно працювати великій кількості студентів, наприклад з'єднуючи різні групи студентів, що займаються у окремих комп'ютерних класах університету.

Загальна схема взаємозв'язку користувачів у реалізації розробленої інформаційної технології зображена на рис. 3.2.

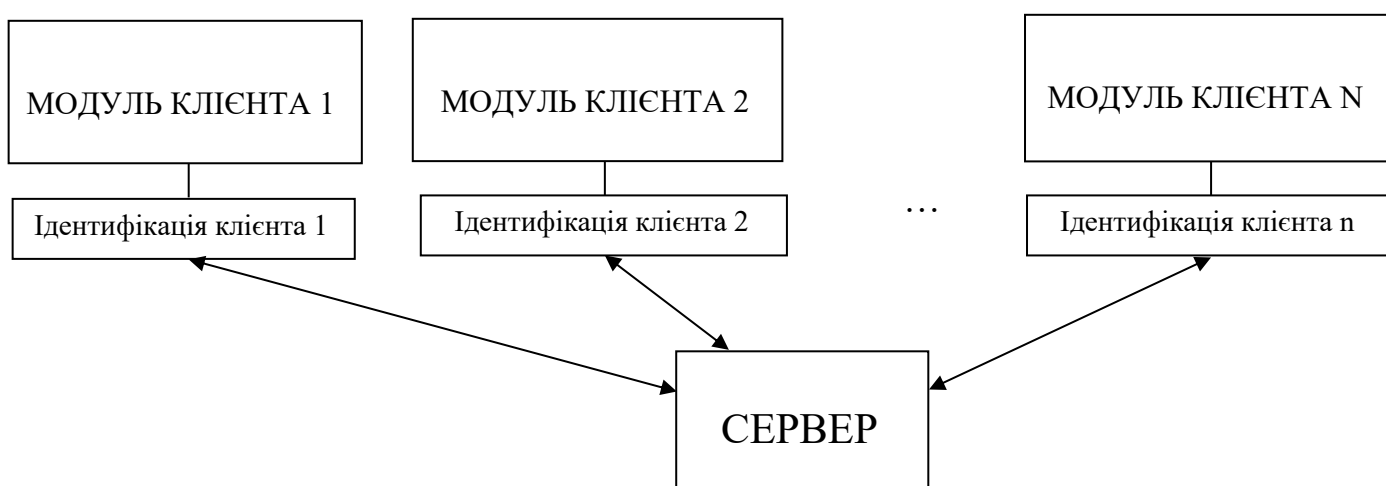


Рисунок 3.2 – Загальна схема взаємозв’язку користувачів у реалізації розробленої інформаційної технології

Сервер розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень, що базується на розробленій інформаційній технології зв’язаний двостороннім зв’язком з клієнтами за допомогою відповідних модулів. Модулі співставляються з клієнтами та ідентифікуються за тими ж ознаками, що й клієнти.

3.2 Алгоритм роботи інформаційної технології у розподіленій системі підтримки прийняття групових рішень

Для подальшої реалізації та дослідження розробленої інформаційної технології підтримки прийняття групових рішень необхідно розробити алгоритм її роботи у розподіленій системі [126]. Функціонування системи буде забезпечуватися двома режимами роботи: за методом більшості та з використанням баєсової мережі. Схеми алгоритмів реалізації розробленої інформаційної технології у алгоритмі роботи розподіленої системи подано на рис. 3.3 та 3.4.

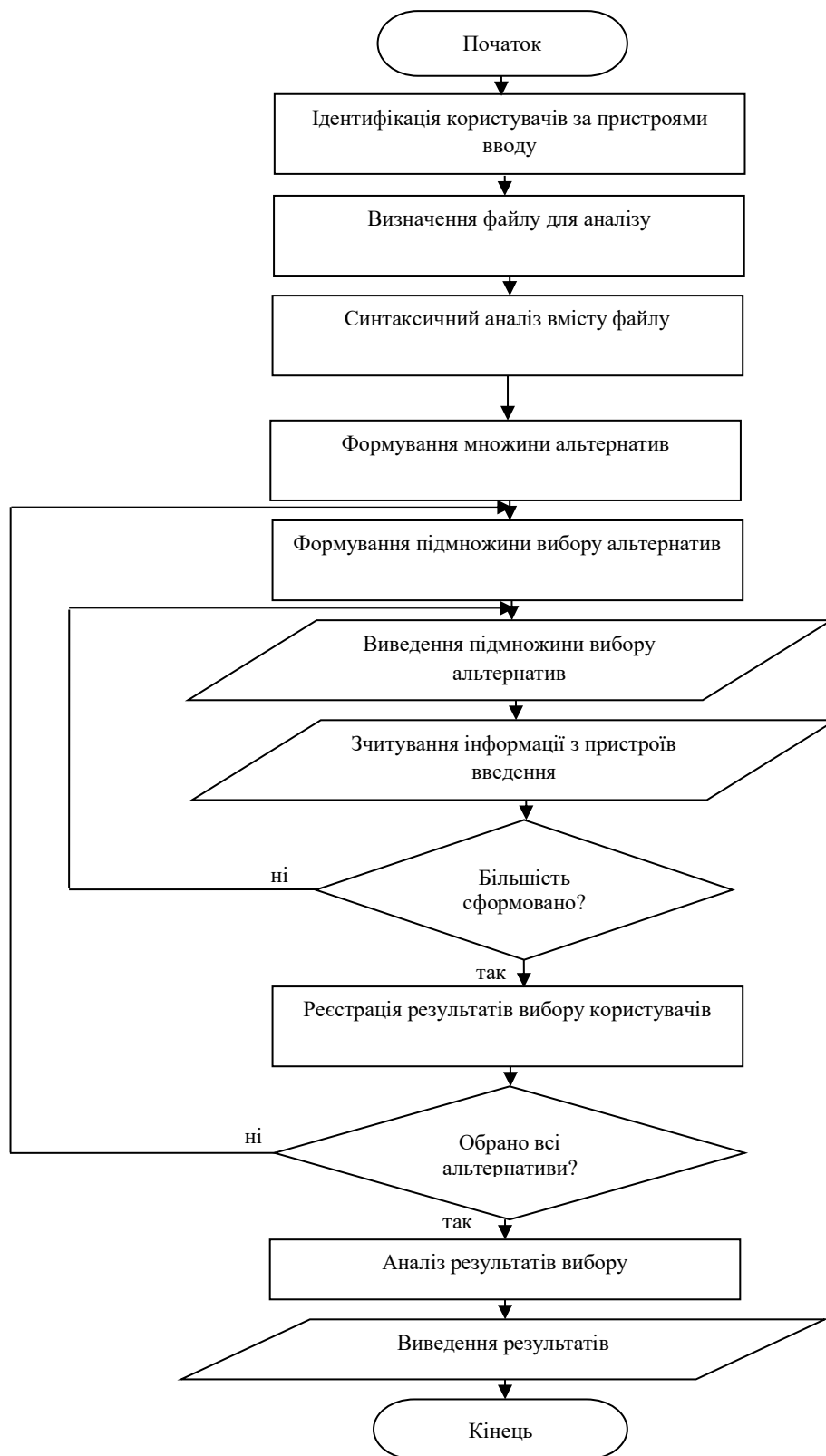
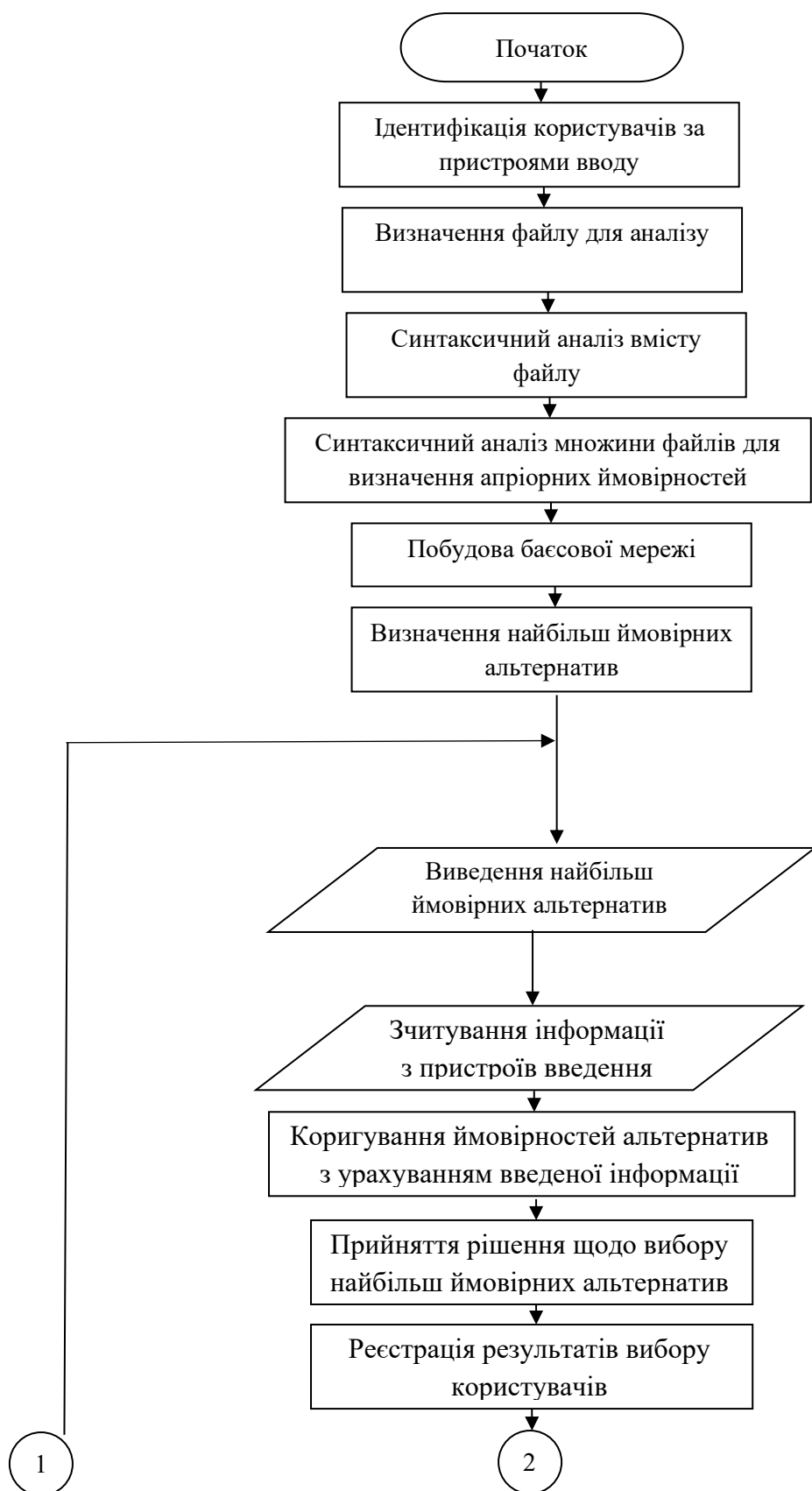


Рисунок 3.3 – Схема алгоритму реалізації розробленої інформаційної технології у алгоритмі роботи розподіленої системи за методом більшості



Продовження рисунку 3.4

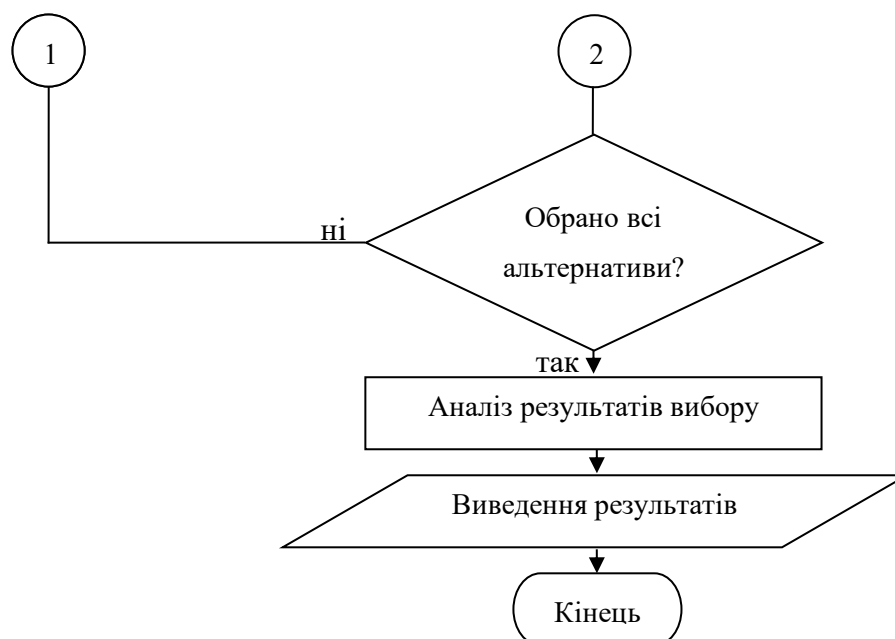


Рисунок 3.4 – Схема алгоритму реалізації розробленої інформаційної технології у алгоритмі роботи розподіленої системи з використанням баєсової мережі

Для початку роботи системи необхідно з'єднати користувачів у мережу (за допомогою дротового або бездротового з'єднання) та надати користувачам доступ до файлу «клієнта» програми. Після встановлення з'єднання користувач-адміністратор запускає на виконання файл «серверу» програми та повідомляє користувачам про необхідність запуску «клієнтів» на їх комп'ютерах. Під час встановлення з'єднання «клієнт-сервер» відбувається ідентифікація користувачів, шляхом присвоєння ним порядкового номера. Після того, як усі користувачі під'єдналися до системи, користувач-адміністратор вибирає файл для синтаксичного аналізу. Обраний файл обробляється синтаксичним аналізатором програмного коду, який визначає та формує окремі блоки програмного коду (коментарі, що містяться у тексті програмного коду не враховуються і ігноруються синтаксичним аналізатором).

Користувач-адміністратор обирає режим роботи системи з двох наявних:

більшість та баєсова мережа. Послідовність подальших кроків різниться для двох режимів роботи, тому їх доцільно розглянути окремо.

Послідовність дій під час режиму більшості. Для забезпечення режиму більшості використовується загальна кількість користувачів та порогове значення кількості користувачів, що зробили свій вибір на користь певної альтернативи. Тобто, якщо кількість користувачів, що обрали певну альтернативу більше 50% від загальної кількості користувачів системи, то це є достатньою умовою для прийняття групового рішення на даному етапі.

Даний режим потребує більшого часу для виконання у випадку незабезпечення більшості користувачами, але при цьому дає можливість спостерігати за взаємодією користувачів у групі та можливістю формування комплексного рішення користувачів, враховуючи не лише свої інтереси, а й інтереси групи. Оскільки рішення системою буде прийнято лише у випадку забезпечення більшості, то користувачі змушені будуть повторювати процес вибору альтернатив до того часу, поки більшість не буде сформовано. Даний процес відбувається до того часу, поки усі наявні альтернативи не будуть використані.

Подальші етапи роботи системи збігаються для обох режимів, тому детально розглянемо послідовність дій під час режиму використання баєсової мережі.

При використанні режиму баєсової мережі відбувається аналіз множини файлів з текстами програмних кодів для визначення апіорних ймовірностей появи елементів програмного коду в текстах. За ймовірностями появи елементів програмного коду будується баєсова мережа, у якій вершинами є елементи, а зв'язками – апіорні ймовірності появи елементів програмного коду. За допомогою баєсової мережі визначаються та виводяться на екрани користувачів найбільш ймовірні альтернативи для вибору. Відбувається реєстрація прийнятих рішень користувачами. Прийняті користувачами рішення вводяться у баєсову

мережу як свідочтва та на їх основі здійснюється перерахунок ймовірностей альтернатив.

Системою приймається рішення про вибір найбільш ймовірної альтернативи на основі переваг користувачів та апріорних ймовірностей альтернатив. Дана властивість системи дозволяє значно зменшити час на прийняття рішень користувачами, оскільки не потребує забезпечення порогового значення більшості для вибору альтернативи, при цьому враховуючи індивідуальні переваги кожного користувача, та здійснюючи навчання користувачів техніці програмування, шляхом виведення найбільш ймовірних елементів програмного коду на кожному етапі. Даний процес продовжується до обрання усіх доступних альтернатив.

Незалежно від режиму роботи, після закінчення наявних альтернатив відбувається аналіз вибору користувачів на кожному етапі прийняття рішень. Після аналізу користувачам виводяться результати їх дій у вигляді кількості правильно та неправильно прийнятих рішень протягом усього часу роботи системи. Дані результати можуть бути використані для оцінки індивідуальної роботи користувача та групової роботи користувачів. Після виведення результатів користувачів відбувається від'єднання «клієнтів» та «сервера», система закінчує роботу.

3.3 Інтерфейсні елементи реалізації інформаційної технології у режимах роботи інтерактивної системи групового вибору

Проведення навчального процесу з використанням систем групового вибору передбачає формування послідовності навчальних тестових задач, кожна з яких вирішується з допомогою групового вибору.

Задачі складаються з етапів (елементарних завдань). Етап передбачає дію, яка викликається активізацією відповідного елементу керування за допомогою миші.

На всіх етапах обробляється робота кожного користувача шляхом аналізу послідовності приходу маркерів в зону дії елемента керування, який буде активізований на кожному етапі обробляється поведінка усіх координато-вказівних пристроїв з нарахуванням відповідної кількості балів користувачам системи за виконання елементарних завдань.

Система тестуючого навчання включає три можливі режими здійснення групового та індивідуального вибору: режим незалежної роботи, режим роботи з використанням «кворуму» та режим роботи з декількома «кворумами».

Розробка інтерфейсних елементів режиму незалежної роботи. Оцінювання роботи користувачів інтерактивної навчально-тестової системи у режимі незалежної роботи може здійснюватись як з миттєвою реакцією на дію користувача, так і з затримкою результату у часі. Схему алгоритму реалізації режиму незалежної роботи зображено на рис. 3.5.

Для забезпечення зворотного зв'язку при використанні підрежиму з миттєвою реакцією, а також для внесення в процес навчання елементу змагання система відображує у діалоговому вікні, наведеному на рис. 3.6, кількість результативних дій кожного користувача.

У верхній частині діалогового вікна розташоване запитання, а у середині – чотири варіанти відповіді, з яких тільки одна є правильною. Користувач здійснює свій вибір, але результат вибору бачить лише після здійснення вибору рештою користувачів (рис. 3.7).

По завершенні процесу виконання завдання усіма членами групи результати та оцінювання роботи виводяться на екран у зручній для проведення порівняльного аналізу формі (рис. 3.8).

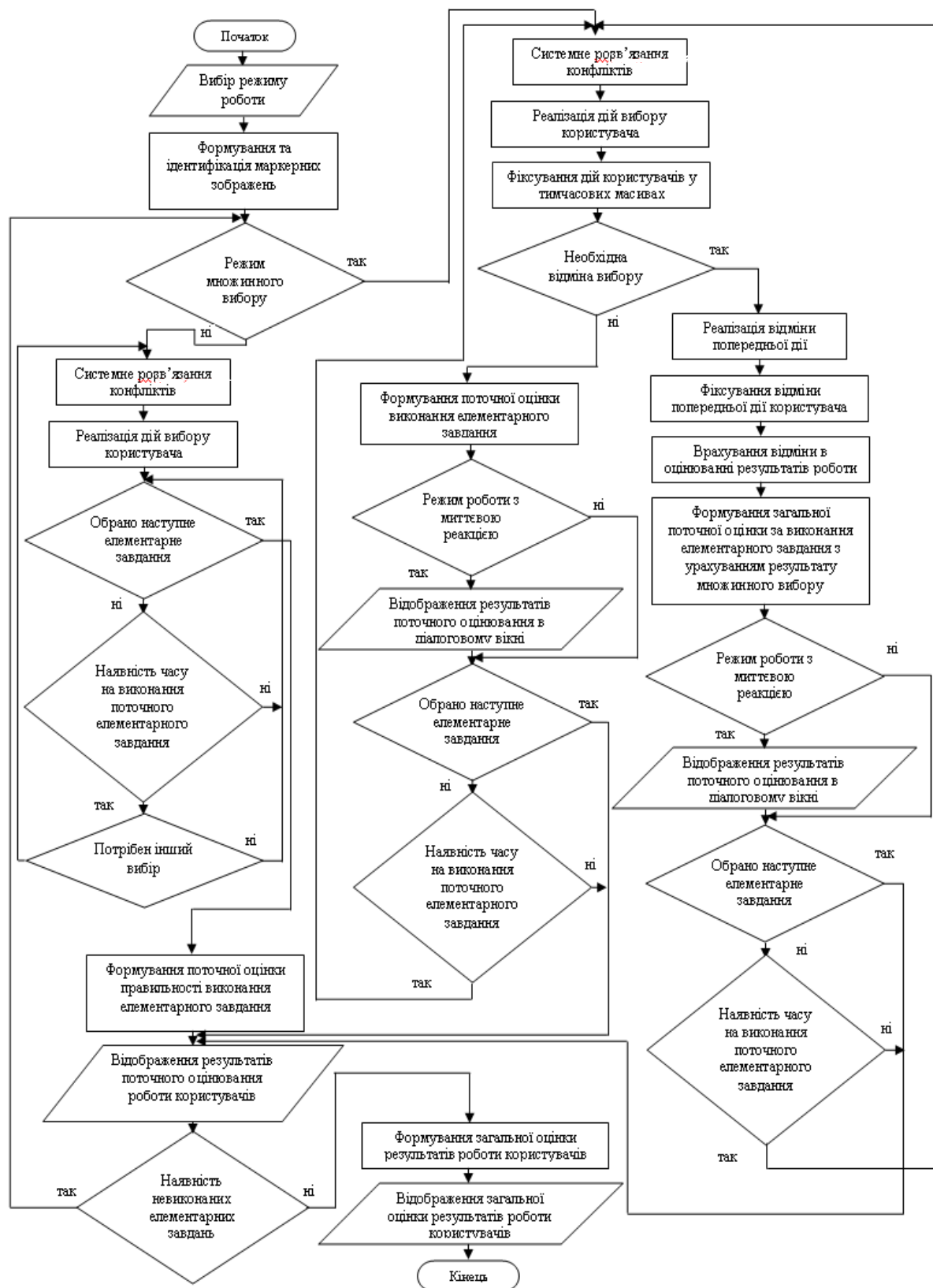


Рисунок 3.5 – Схема алгоритму реалізації режиму алгоритму незалежної роботи користувачів

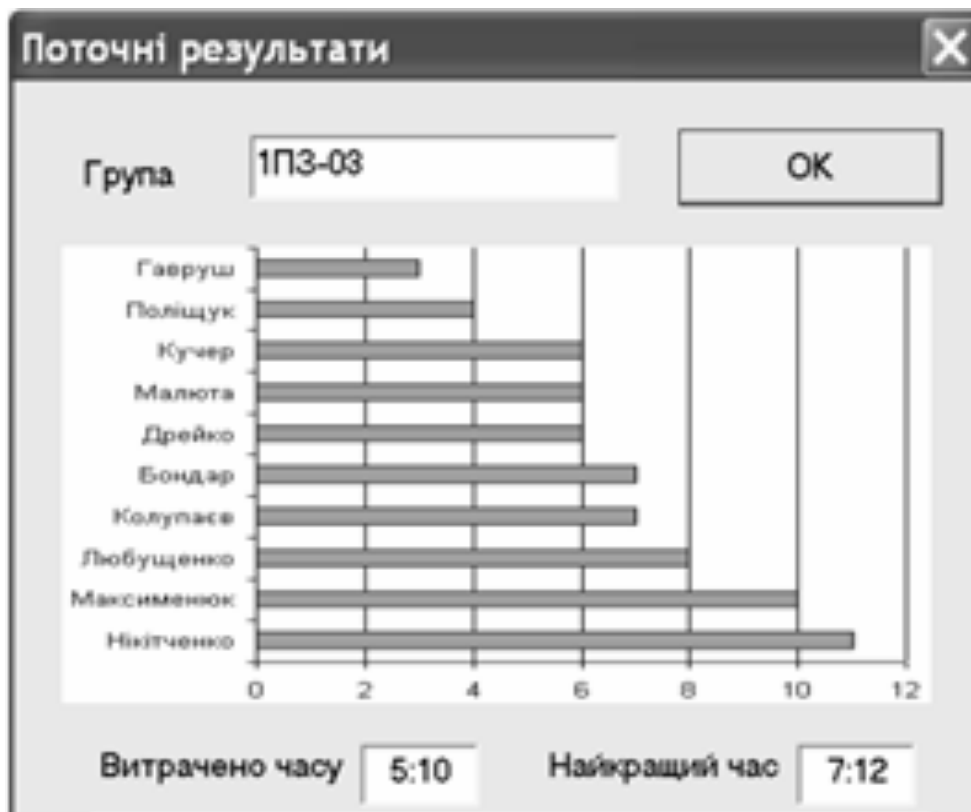


Рисунок 3.6 – Діалогове вікно для відображення результатів роботи користувачів

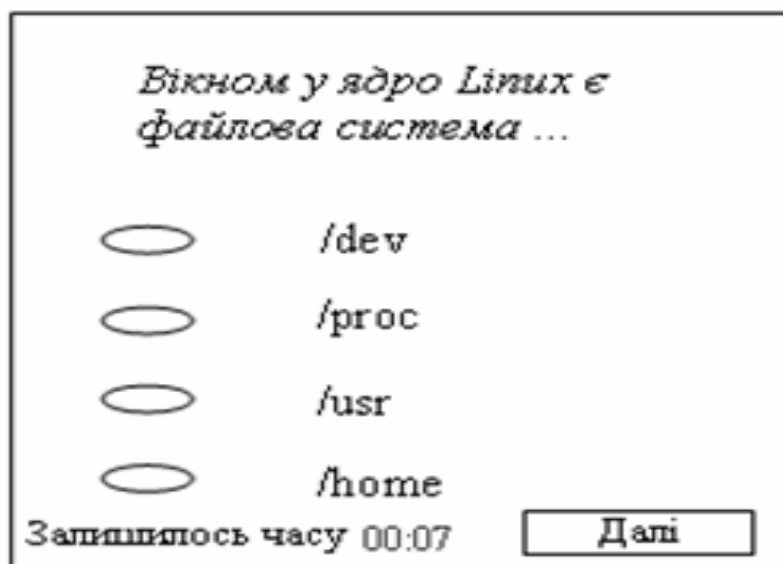


Рисунок 3.7 – Елемент вибору з варіантів у підрежимі з затримкою результату у часі

Результати відображаються у вигляді стовпчикових діаграм, де різними кольорами показано кількість правильних відповідей і помилок користувачів.



Рисунок 3.8 – Поточні результати роботи

Розробка інтерфейсних елементів режиму роботи з використанням «кворуму». Проілюструємо функціонування режиму роботи з використанням “кворуму” на прикладі виконання навчально-тестового завдання з реалізацією принципу створення ігрових ситуацій навчального характеру при вирішенні задачі вибору елемента з категорії, що зображено у діалоговому вікні на рис. 3.9.

Діалогове вікно містить наступні елементи:

- набір трьох понять (верхня частина вікна)
- набір трьох категорій (нижня частина вікна).

Перед користувачами стоїть задача обрати відповідність поняття наявній категорії.

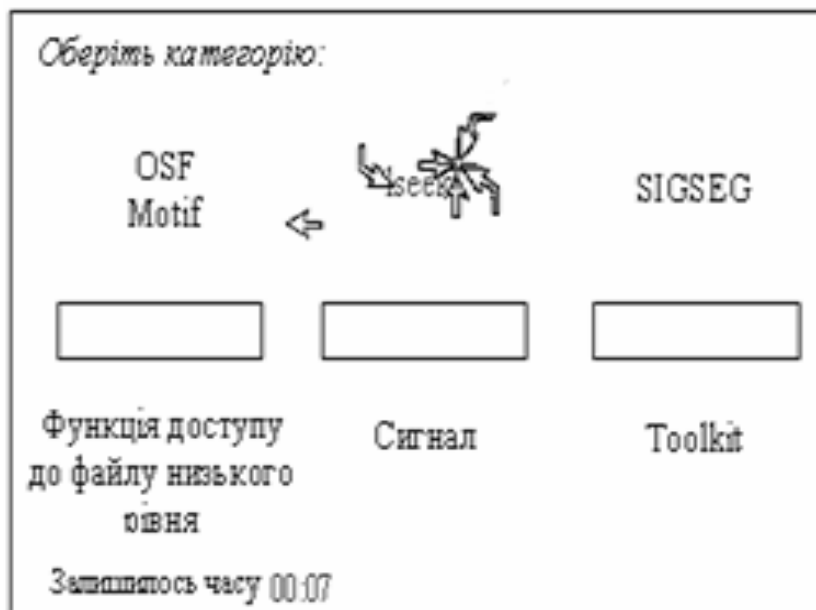


Рисунок 3.9 – Елемент вибору з категорії системи

Схема алгоритму реалізації режиму роботи з використанням «кворуму» зображено на рис. 3.10.

Розробка інтерфейсних елементів роботи користувачів з використанням декількох «кворумів». Режим роботи користувачів з використанням декількох «кворумів» вимагає забезпечення можливості паралельної роботи дій декількох груп користувачів. Робота елемента керування режиму з використанням декількох «кворумів» передбачає можливість утворення кількох ситуативних «кворумів» (рис. 3.11).

Під час процесу конструювання програмного коду з наявних елементів можливе виникнення трьох різних ситуацій, які необхідно комплексно враховувати.

Ситуація 1 може виникнути у випадку, коли лише один із запропонованих елементів є правильним. Наприклад, у зображеному на рис. 3.11 діалоговому вікні лише вибір елементу «char *» є правильним і дозволить продовжити процес конструювання програми. Отже, кожен користувач системи повинен встигнути потрапити до відповідного «кворуму».

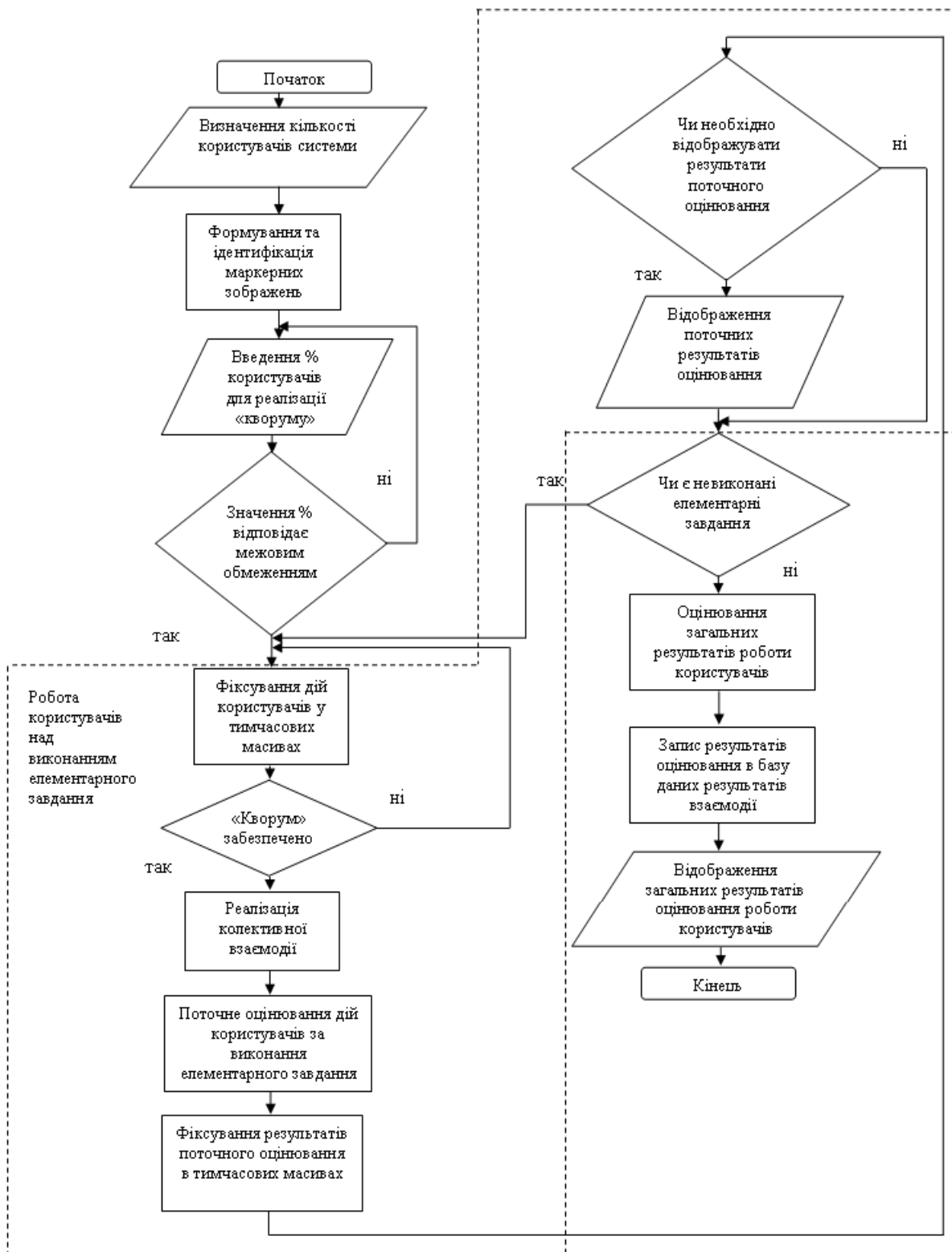


Рисунок 3.10 – Схема алгоритму реалізації режиму роботи з використанням «кворуму»

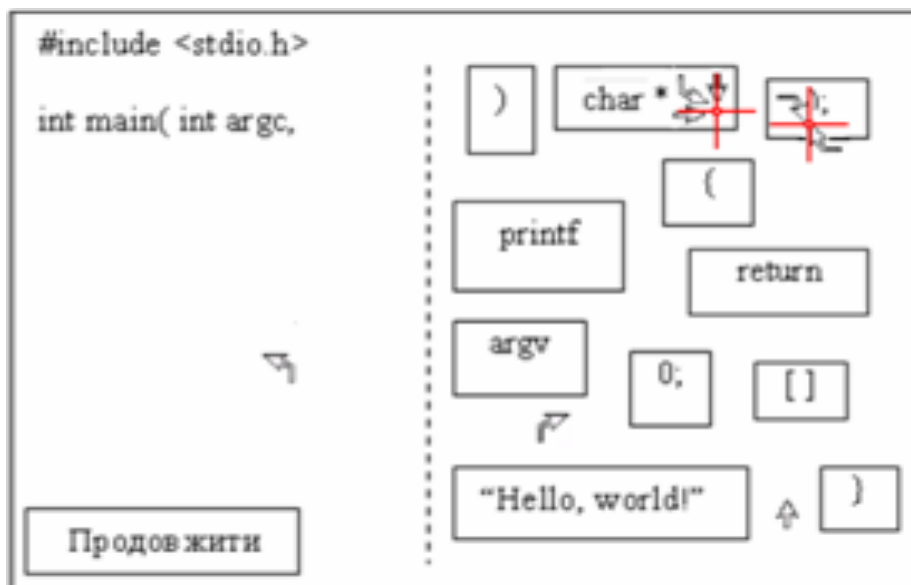


Рисунок 3.11 – Утворення двох ситуативних «кворумів»

Виникнення такої ситуації певним чином призводить до активізації уваги користувачів, оскільки той, хто не встигне потрапити до правильного ситуативного «кворуму», не отримає позитивного призового балу у процесі тестового контролю.

Ситуація 2 виникає у випадку, коли декілька з запропонованих варіантів вирішення завдання є правильними (наприклад: дужки, спеціальні символи або ключові слова у процесі конструювання програми). Так у наведеному на рис. 3.12 діалоговому вікні процес конструювання програми на мові C++ може бути продовженим при виборі будь-якого з наявних у робочому просторі структурних елементів програми.

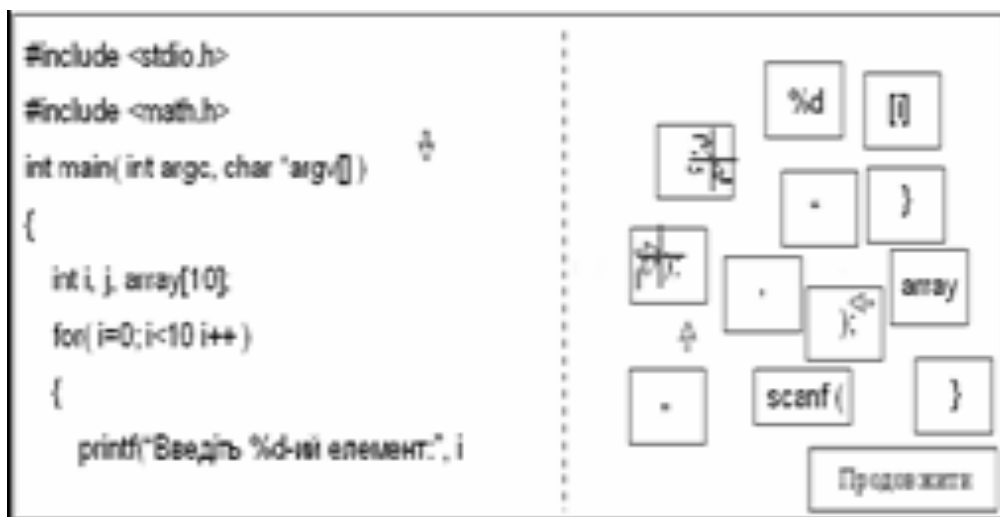


Рисунок 3.12 – Ситуація з декількома правильними відповідями

Задача користувача системи у подібній ситуації полягає у тому, щоб не тільки визначити правильну відповідь, але й швидко зорієнтуватися та встигнути до найближчого ситуативного «кворуму», який дозволить безпомилково виконати завдання [97].

Зауважимо, що режим роботи інтерактивної системи групової взаємодії з декількома «кворумами» передбачає реалізацію лише колективної взаємодії користувачів у складі одного з ситуативних «кворумів» і не підтримує спроб індивідуальної роботи.

Ситуація 3 характеризується особливістю запропонованого навчального завдання, яке передбачає можливість користувачам на свій розсуд продовжити процес конструювання програми, що може розвиватися у різних напрямках.

Схема алгоритму реалізації режиму роботи з використанням декількох «кворумів» зображена на рис. 3.13.

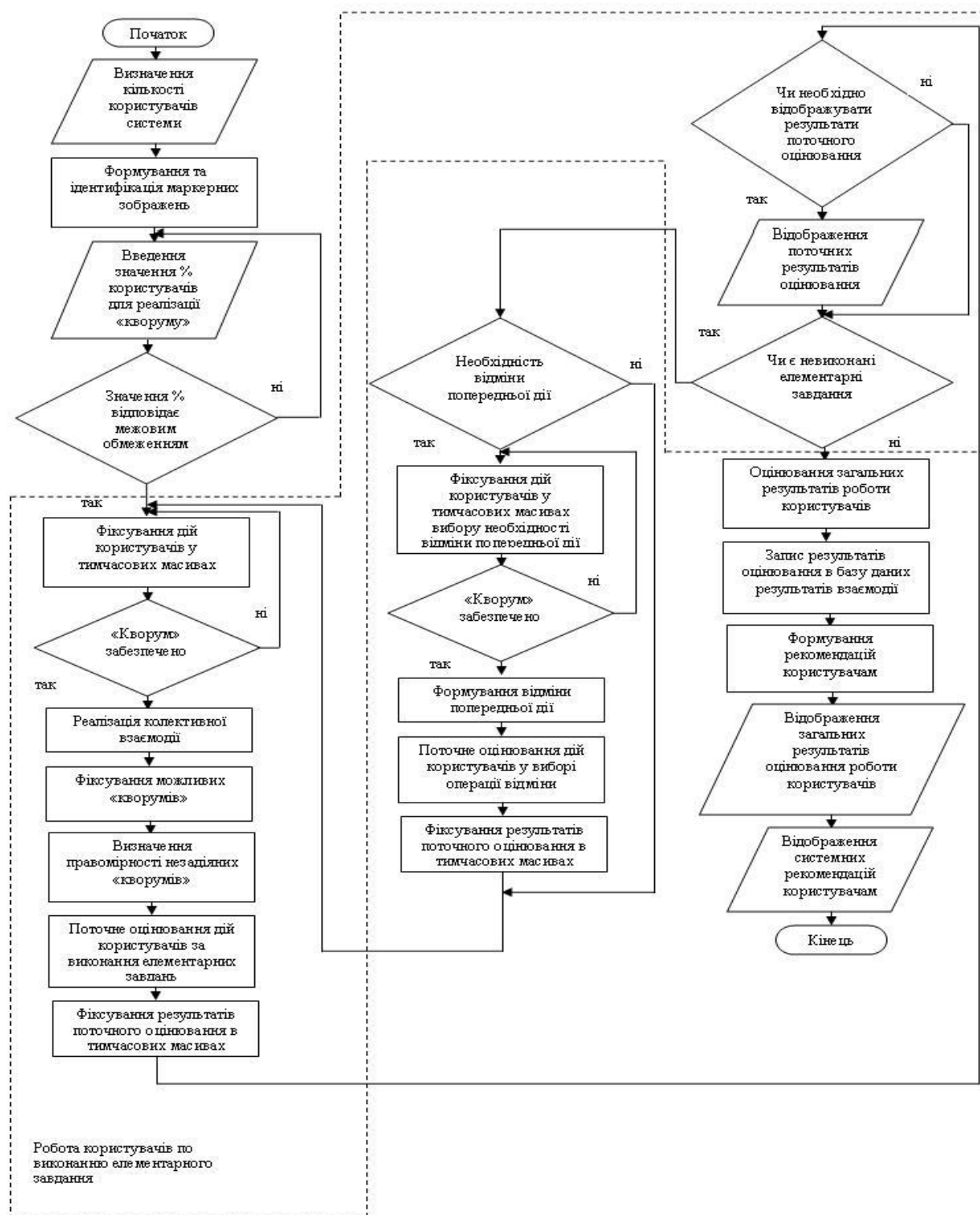


Рисунок 3.13 – Схема алгоритму реалізації режиму роботи з використанням декількох «кворумів»

Перевірка правильності складеної програми відбувається шляхом подальшої її збірки, компіляції та виконання. При цьому передбачено процес порівняння файлу-результату з еталоном. Слід зауважити, що у такій ситуації може виявитися значно більше помилок користувачів, ніж за умов реалізації ситуацій 1 та 2. Адже окрім логічних помилок у структурі складеної програми, додаткові помилки можуть знайти транслятор, збирач та програма-верифікатор файлів. Це призводить до ускладнення алгоритмічного та програмного забезпечення відповідних модулів навчальної системи групового вибору, однак надає користувачам більше можливостей реалізувати свої творчі здібності.

Робота користувачів системи за умов наявності ситуації 3 передбачає особливо високу концентрацію уваги, інтенсифікацію обміну думками в ході процесу виконання навчально-тестового завдання шляхом колективної взаємодії та сприяє більшому психологічному згуртуванню членів групи. Завершення функціонування діалогових вікон, які забезпечують інтерфейс взаємодії з користувачами в режимі роботи з декількома «кворумами», відбувається або в момент вичерпання множини доступних складових елементів структури, або в разі групового натиснення кнопки «Продовжити» членами діючих «кворумів». Слід зауважити, що натиснення на кнопку «Продовжити» не може бути здійснено одним малочисельним ситуативним «кворумом», а потребує участі кваліфікованої більшості користувачів. Це обумовлено важливістю реалізації такої дії, яка, у свою чергу, може, у разі помилки, призвести до значного погіршення результатів тестового оцінювання усіх користувачів.

Необхідність наявності кнопки «Продовжити» обумовлена тим, що часто у завданні до набору множини складових елементів структури вводять сторонні додаткові елементи, непотрібні при конструюванні заданого об'єкту. Тому про завершення процесу складання об'єкту систему потрібно проінформувати у явній формі. Додавання низки сторонніх елементів до множини складових елементів структури об'єкту дозволяє підвищити складність завдання і, відповідно, інтерес

користувачів до його вирішення.

Відображення результатів тестового оцінювання роботи користувачів у режимі реалізації групового вибору з декількома «кворумами» залежить від умов створеної ситуації. При ситуації 1 діалогове вікно відображення результатів (рис. 3.14) містить інформацію про кількість позитивних, негативних та сумарних балів та деяку додаткову інформацію про кожного користувача системи.

Для проведення аналізу діяльності користувачів системи в процесі навчання в діалогове вікно відображення результатів тестового оцінювання включено поля «Активність (рух)» та «Участь у кворумах». У першому полі записується кількість елементарних рухів маніпулятором «миша» кожного з користувачів системи. У другому – відображується кількість «кворумів», у яких користувач брав участь.

	Сума	Плюс	Мінус	Активність (рух)	Участь у кворумах
Нікітченко	8	9	1	78	11
Максименко	6	8	2	64	13
Лобушченко	5	8	3	85	11
Дрейко	4	7	3	83	10
Бондар	4	8	4	67	12
Малюга	3	6	3	119	15
Перун	2	4	2	43	7
Авєнчук	2	4	2	115	16

Рисунок 3.14 – Результати роботи елемента впорядкування у ситуації 1

При цьому враховуються як ті «кворуми», які призвели до виконання дії і нарахування позитивного або негативної оцінки в процесі оцінювання результатів

роботи, так і такі, які виникли випадково.

Аналіз значень у вказаних полях дає змогу сформулювати певні корисні рекомендації користувачам системи щодо покращення результатів їх роботи і відповідного підвищення ефективності процесу навчання в інтерактивному середовищі групового вибору. У якості прикладів рекомендацій користувачам системи можна навести наступні: “система рекомендує робити вибір більш впорядковано після деякого обдумування, а не починати дію з хаотичного руху миші”, “система рекомендує потренувати точність рухів маніпулятором “миша” та натискувань кнопки” тощо. У ситуації 2 вікно відображення результатів тестового оцінювання має дещо складнішу структуру, адже воно містить не лише результати вдалих та невдалих спроб виконання операцій, але й показує участь користувачів у тих “кворах”, які, хоча і не привели до виконання дії, але могли призвести до вибору правильного (або неправильного) елемента. Ефективність визначається як відстань між позицією курсору користувача і рекомендованою позицією, яка вираховується засобами системи колективного тестуючого навчання з урахуванням початкового положення курсору користувача та положення відповідного складового елемента структури, який повинен бути обраним наступним у робочому просторі програми. У ситуації 3 вікно відображення результатів тестового контролю (рис. 3.15) містить додаткову інформацію про результати оцінювання програми на етапі її верифікації.

Користувачам системи забезпечена можливість відображення результатів запуску сконструйованої ними програми та визначення кількості помилок з вказуванням етапів верифікації програми, на яких ці помилки виявлено, а саме: етапу компіляції (трансляції); збірки; запуску та порівняння файлу-результату роботи з еталоном.

Така реалізація засобів подання інформативних даних забезпечує можливість детального аналізу характеристик об’єкту дослідження, що в свою чергу призводить до підвищення якості та ефективності реалізації навчального

процесу в середовищі інтерактивної системи групового вибору.

Рисунок 3.15 – Результати роботи елемента впорядкування у ситуації 3

3.4 Основні модулі інформаційної технології для взаємодії користувачів у розподіленій системі підтримки прийняття групових рішень

Взаємодія користувачів під час використання розробленої інформаційної технології у різних режимах роботи реалізується шляхом поєднання основних модулів. Розглянемо кожен з модулів детальніше.

Модуль реалізації покрокового переходу – забезпечує перехід до виконання групою користувачів наступного елементарного завдання. Перехід здійснюється у випадках:

- 1) усі користувачі зробили свій вибір;
- 2) закінчився відведений на виконання даного елементарного завдання час.

Модуль фіксування дій користувачів – забезпечує зберігання даних, отриманих в результаті дій користувача. Обов'язковою умовою фіксування дій користувача є здійснення ним вибору, шляхом натискання на одну з можливих альтернатив виведених на екрані.

Модуль вибору режиму роботи – забезпечує вибір одного з двох режимів роботи системи підтримки прийняття групових рішень:

- 1) режим роботи за методом більшості;
- 2) режим роботи з використанням баєсової мережі.

Модуль обробки фіксування дій користувачів – забезпечує обробку даних, отриманих в результаті дій користувача.

Модуль розв’язання конфліктів – забезпечує розв’язання суперечних ситуацій, що виникають за умови, що користувачі не сформували загальне, групове рішення. Модуль формування динамічного відображення результатів дій користувачів – забезпечує формування графічного відображення дій користувачів. Графічне відображення відбувається в режимі реального часу.

Модуль динамічного відображення результатів дій користувачів – забезпечує власне відтворення на моніторі графічного відображення дій користувачів.

Модуль режиму роботи за методом більшості – забезпечує можливість користувачів здійснювати груповий вибір за допомогою формування порогового значення більшості.

Модуль режиму роботи з використанням баєсової мережі – забезпечує можливість користувачів здійснювати груповий вибір зважаючи лише на індивідуальні переваги кожного користувача, без забезпечення порогового значення більшості.

Модуль бази даних результатів – забезпечує можливість отримання, зберігання та у випадку потреби доступу до даних, що відображають результати користувачів. Пов’язаний двостороннім зв’язком з модулем бази персональних даних користувачів. Модуль бази даних користувачів – забезпечує можливість отримання, зберігання та у випадку потреби доступу до даних, що відображають персональну інформацію користувачів. Пов’язаний двостороннім зв’язком з модулем бази даних результатів.

Загальний вигляд взаємозв'язків між модулями розробленої інформаційної технології для взаємодії користувачів у розподіленій системі подано на рис. 3.16.

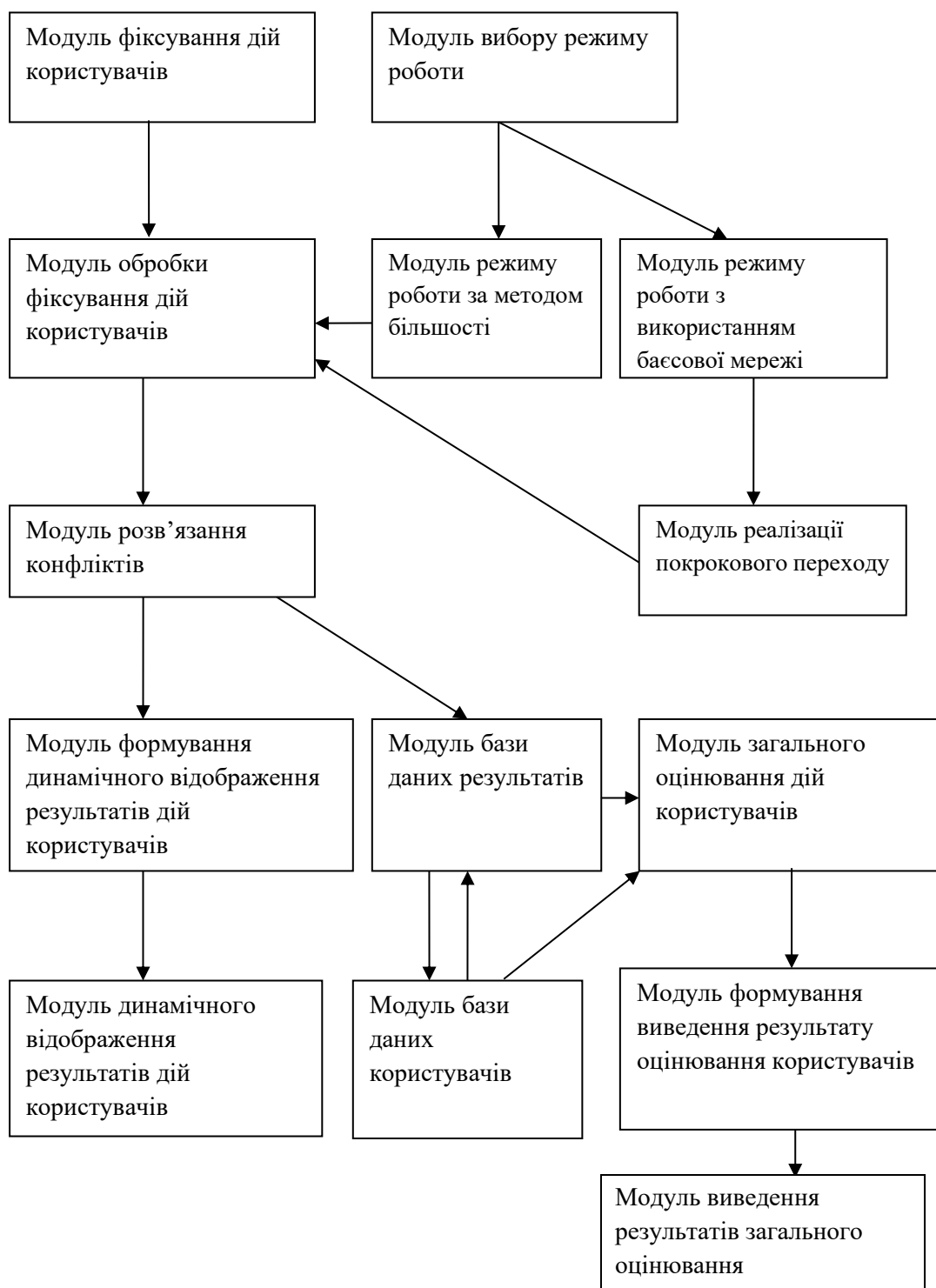


Рисунок 3.16 – Взаємозв'язок між модулями розробленої інформаційної технології для взаємодії користувачів у розподіленій системі

Модуль загального оцінювання дій користувачів – забезпечує формування оцінки зробленого користувачами вибору.

Модуль формулювання виведення результату оцінювання користувачів – забезпечує формування виведення даних, отриманих в результаті оцінки дій користувачів.

Модуль виведення результатів загального оцінювання – забезпечує виведення на екран даних, отриманих в результаті оцінки дій користувачів.

3.5 Програмні об'єкти реалізації інформаційної технології для забезпечення функціонування розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень

Основу програмної реалізації інформаційної технології у системі підтримки прийняття групових рішень складають дванадцять основних програмних об'єктів. Узагальнену модель програмної реалізації інформаційної технології у системі підтримки прийняття групових рішень подано на рис. 3.17.

Основними програмними об'єктами є: об'єкт виведення інформації (Output), введення інформації (Input), структури з інформацією про пристрої USB кожного користувача ("Struct" DevInfo), прийняття рішень (PMControl), інтерфейсу USB пристрою (USBDev), типу пристрою (USBD_DEVICE_TYPE), результатів прийняття рішень (ResultPanel), керування системою (Engine), отримання інформації від USB-пристроїв (CDevCore), побудови і розрахунку баєсової мережі (BayesNet), синтаксичного аналізу програмного коду (FileParser), виведення службової інформації у файли (CLog). Процедура обробки отриманих даних від USB-пристроїв користувачів здійснюється для знаходження результуючого комплексного рішення системи за отриманими від синтаксичного аналізатора та користувачів даними. Розглянемо детальніше основні програмні об'єкти, що забезпечують функціонування системи підтримки прийняття групових рішень.

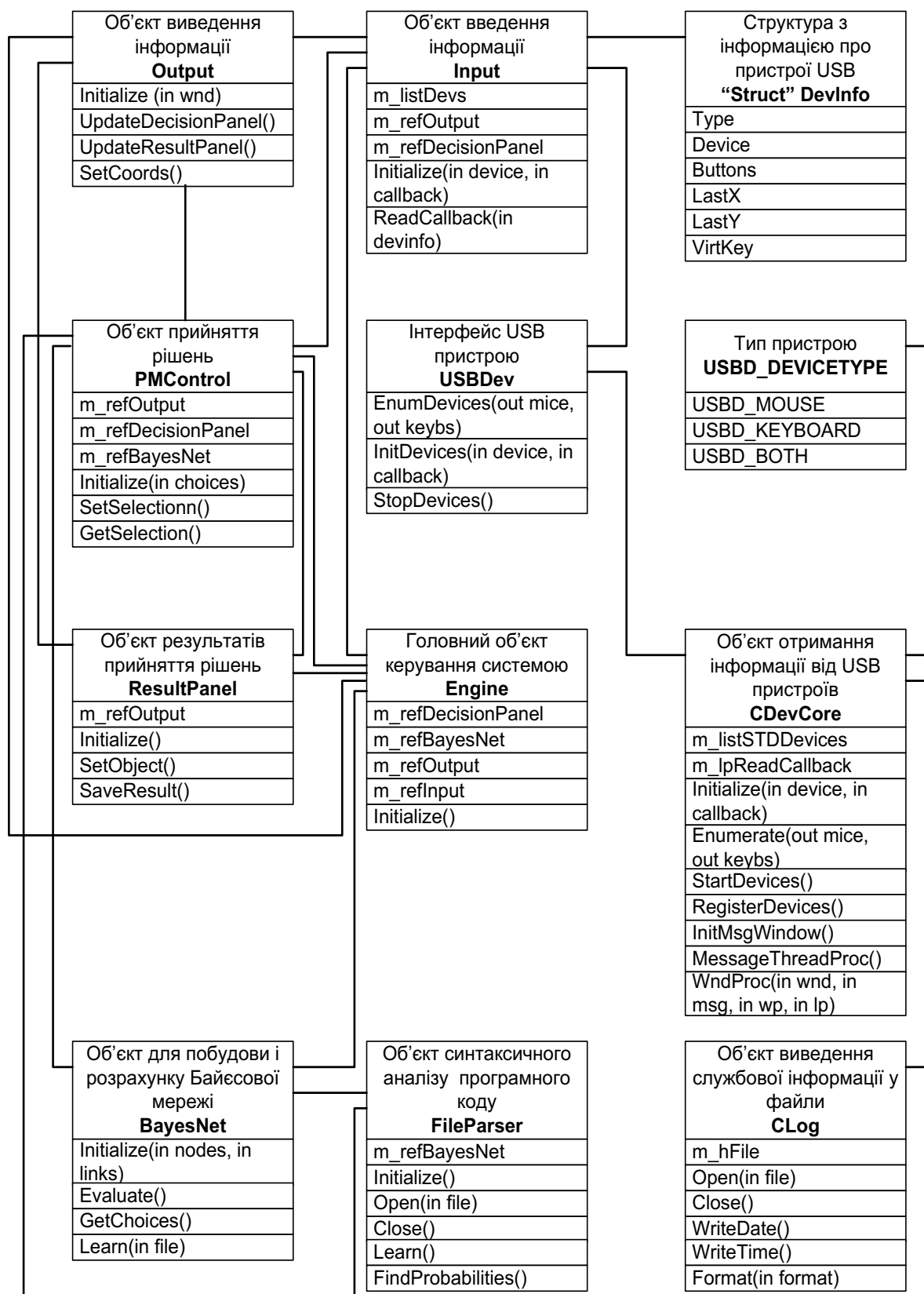


Рисунок 3.17 – Узагальнена модель програмної реалізації інформаційної технології у системі підтримки прийняття групових рішень

Програмний об'єкт виведення інформації (Output) використовується для коригування та модифікації графічної і текстової інформації та виведення її на монітори користувачів. Під графічною інформацією розуміємо зображення курсорів, блоків прийняття рішень і т.п. Текстова інформація акумулює інформаційне наповнення блоків прийняття рішень. Об'єкт виведення інформації (Output) реалізований за допомогою мови програмування C#.

Функція Initialize (in wnd) здійснює ініціалізацію об'єкта виведення інформації (Output) і готує об'єкт до виконання призначених дій. Функція Initialize приймає параметр wnd – дескриптор вікна виведення інформації, який дозволяє використовувати об'єкт для роботи з будь-яким вікном, що буде використовуватись об'єктом для виконання функції виведення інформації (текстової, графічної, динамічної тощо).

Також, об'єкт введення інформації (Input) містить посилання m_refOutput на об'єкт виведення даних (Output), з яким він буде взаємодіяти у процесі функціонування системи. Дане посилання ініціалізується на етапі створення об'єкта. Об'єкт введення інформації (Input) містить також посилання на об'єкт прийняття рішень m_refDecisionPanel. Функція об'єкта Initialize(in device, in callback) готує об'єкт до роботи та встановлює тип пристроїв, з якими буде взаємодіяти об'єкт, та функцію оберненого виклику ReadCallback(in devinfo). Статична функція оберненого виклику ReadCallback(in devinfo) викликається кожен раз, коли з'являються нові дані від пристроїв введення. Функція викликається об'єктом отримання інформації від USB-пристроїв. Також, функція отримує інформацію про пристрій введення, який має дані для зчитування.

Програмний об'єкт прийняття рішень (PMControl) призначений для керування процесом прийняття рішень у системі. Об'єкт ефективно взаємодіє з об'єктом виведення інформації (Output) шляхом використання посилання m_refOutput, що дозволяє відображувати результати прийнятих рішень. Об'єкт прийняття рішень (PMControl) має також посилання на об'єкт прийняття рішень

(m_refDecisionPanel) та об'єкт побудови і розрахунку баєсової мережі (m_refBayesNet). Об'єкт прийняття рішень (PMControl) реалізований засобами мови програмування C#.

Функція ініціалізації (Initialize(in choices)) готує об'єкт прийняття рішень (PMControl) до роботи та приймає список альтернатив. Функція SetSelection() є функцією встановлення поточної обраної альтернативи. Функція GetSelection() – визначає поточну обрану альтернативу. Об'єкт прийняття рішень (PMControl) отримує інформацію від об'єкта побудови і розрахунку баєсової мережі (BayesNet), який, в свою чергу, обчислює значення параметрів мережі та передає їх об'єкту прийняття рішень (PMControl).

Об'єкт прийняття рішень може працювати в одному з двох режимів роботи: режимі за методом більшості та режимі з використанням баєсової мережі. У режимі роботи за методом більшості об'єкт не взаємодіє з об'єктом побудови і розрахунку баєсової мережі (BayesNet) та приймає рішення самостійно. Об'єкт прийняття рішень має зв'язок з допоміжним об'єктом результатів прийнятих рішень.

Об'єкт введення інформації (Input) взаємодіє з об'єктом отримання інформації від USB-пристроїв за допомогою інтерфейсу USB (USBDev). Головними функціями інтерфейсу є:

1. EnumDevices(out mice, out keybs) для визначення наявних пристроїв введення інформації, що підключені до системи. Ця функція повертає кількість координатно-вказівних пристроїв та клавіатур.

2. InitDevices(in device, in callback) ініціалізує вид пристроїв та готує їх до початку роботи.

3. StopDevices() завершує роботу всіх задіяних пристроїв та звільняє ресурси системи. Інтерфейс USB пристрою є ефективним засобом взаємодії об'єктів та дозволяє реалізувати принципи перенесення коду на високому рівні.

Об'єкт реалізований за допомогою мови програмування C#.

Перерахування типів пристроїв (USBD_DEVICETYPE) містить множину типів пристроїв, з якими може взаємодіяти система підтримки прийняття рішень, а саме: USB_MOUSE – тільки координатно-вказівні пристрої, USB_KEYBOARD – тільки клавіатури, USB_BOTH – обидва типи пристроїв. Значення цієї множини передається у відповідні функції об'єктів роботи з пристроями введення інформації. Перерахування типів пристроїв (USBD_DEVICETYPE) реалізовано засобами мови програмування C#.

Програмний об'єкт результатів прийнятих рішень (ResultPanel) дозволяє подати результати у зручному вигляді. Крім функції ініціалізації (Initialize()) та посилання на об'єкт виведення інформації (m_refOutput), програмний об'єкт результатів прийняття рішень (ResultPanel) містить функцію встановлення об'єкта (SetObject()) та функцію зберігання результату (SaveResult()). Функція SaveResult() дозволяє записувати файли з результатами рішень. Об'єкт результатів прийнятих рішень (ResultPanel) реалізований у середовищі програмування C#.

Головний програмний об'єкт керування системою (Engine) виконує функції запуску системи, підготовки її до роботи, запуску інших об'єктів у визначені моменти часу. Об'єкт містить посилання на об'єкт панелі прийняття рішень (m_refDecisionPanel), посилання на об'єкт побудови і розрахунку баєсової мережі (m_refBayesNet), посилання на об'єкт виведення інформації (m_refOutput), посилання на об'єкт введення інформації (m_refInput) та на функцію ініціалізації Initialize(). Головний об'єкт керування системою (Engine) завжди запускається першим, створює інші об'єкти та запускає функції їх ініціалізації. Об'єкт керування системою (Engine) реалізований за допомогою мови програмування C#.

Програмний об'єкт отримання інформації від USB-пристроїв (CDevCore) реалізований за допомогою бібліотеки динамічної компоновки і може незалежно використовуватись в інших проектах для застосування функції роботи з множинними пристроями введення. Об'єкт отримання інформації від USB-

пристроїв (CDevCore) реалізований за допомогою мови програмування C++. Об'єкт містить список пристроїв введення інформації `m_listSTDDDevices`, який складається з дескрипторів програмного коду. Об'єкт містить також покажчик на функцію оберненого виклику `m_lpReadCallback`. Покажчик ініціалізується об'єктом верхнього рівня, який використовує даний об'єкт. Функція `Initialize(in device, in callback)` ініціалізує об'єкт для роботи з певним типом пристроїв та встановлює функцію оберненого виклику. Цей об'єкт отримання інформації використовує покажчик функції оберненого виклику для виклику та функції передачі даних від пристрою введення.

Функція `Enumerate(out mice, out keybs)` визначає кількість наявних координатно-вказівних пристроїв та клавіатур. Функція `StartDevices()` запускає пристрої введення та реалізує їх взаємодію.

Функція `RegisterDevices()` реєструє певний вид пристроїв для подальшої роботи об'єкта з ними. Функція `InitMsgWindow()` ініціалізує приховане вікно повідомлень для отримання повідомлень від пристроїв введення. Функція `MessageThreadProc()` є функцією потоку повідомлень. Потік повідомлень призначений для отримання інформації від пристроїв введення незалежно від головного потоку, що викликається.

Функція `WndProc(in wnd, in msg, in wp, in lp)` слугує для обробки отриманих повідомлень прихованим вікном обробки повідомлень. Об'єкт отримання інформації від USB-пристроїв (CDevCore) тісно взаємодіє з об'єктом виведення службової інформації у файли (CLog).

Програмний об'єкт побудови і розрахунку баєсової мережі (BayesNet) дозволяє формувати баєсову мережу певної конфігурації та обчислювати її параметри. Об'єкт побудови і розрахунку баєсової мережі (BayesNet) реалізований за допомогою мови програмування C#.

Функція `Initialize(in nodes, in links)` дозволяє ініціалізувати об'єкт і приймає список вузлів та список зв'язків у мережі. Функція `Evaluate()` є функцією

розрахунку мережі і дозволяє визначити ймовірності появи альтернативи у будь-якому вузлі. Функція `GetChoices()` – повертає найбільш ймовірні альтернативи.

Функція `Learn(in file)` – навчає мережу використовуючи оперативні дані файлів, які містять програмний код. Програмний об'єкт побудови і розрахунку баєсової мережі (`BayesNet`) пов'язаний з об'єктом синтаксичного аналізу програмного коду.

Програмний об'єкт синтаксичного аналізу програмного коду (`FileParser`) використовується для того, щоб виділити основні структурні блоки програми та сформувані альтернативи прийняття рішень. Цей об'єкт також дозволяє визначати ймовірність використання тих чи інших елементів програми з метою навчання баєсової мережі. Об'єкт містить посилання (`m_refBayesNet`) на об'єкт побудови і розрахунку баєсової мережі (`BayesNet`), функцію ініціалізації (`Initialize()`), функцію відкриття файлу для аналізу (`Open(in file)`), функцію закриття файлу (`Close()`), функцію (`Learn()`), що навчає мережу в результаті синтаксичного аналізу файлу та функцію розрахунку ймовірностей появи елементів появи програмного коду (`FindProbabilities()`). Об'єкт синтаксичного аналізу програмного коду (`FileParser`) реалізований за допомогою мови програмування C#.

Програмний об'єкт виведення службової інформації у файли (`CLog`) реєструє всі події, які відбуваються під час отримання інформації від пристроїв. Об'єкт містить дескриптор файлу, в який виводиться службова інформація `m_hFile`.

Функція `Open(in file)` дозволяє відкрити та підготувати певний файл для виведення службової інформації.

Функція `Close()` дозволяє закрити файл виведення службової інформації.

Функція `WriteDate()` дозволяє вивести у файл інформацію, яка починається з поточної дати. Функція `WriteTime()` дозволяє вивести у файл інформацію, яка починається з поточного часу.

Функція `Formation(in format)` форматує службову інформацію, використовуючи текстовий рядок форматування.

Об'єкт виведення службової інформації у файли (`CLog`) реалізований за допомогою мови програмування `C#`.

3.6 Висновки до розділу 3

Визначено загальні принципи та компоненти реалізації інформаційної технології у розподілених системах підтримки прийняття групових рішень та її основні завдання.

Розроблено інформаційну технологію, яка базується на нових інформаційних моделях, алгоритмах, модулях та програмних засобах та визначено області її застосування. Розроблена інформаційна технологія забезпечує функціонування двох режимів роботи групового вибору: за методом більшості та з використанням баєсової мережі, що дозволяє порівняти ефективність прийнятих рішень та кількість конфліктних ситуацій, які виникають у процесі прийняття рішень. Дана особливість розробленої інформаційної технології дозволить використовувати її реалізацію у навчальному процесі, оскільки забезпечить можливість дистанційного навчання та контролю знань студентів.

Розроблено алгоритм роботи інформаційної технології у розподіленій системі підтримки прийняття групових рішень та наведено схеми алгоритмів реалізації розробленої інформаційної технології. Детально розглянуті режими роботи розподіленої системи, зокрема розглянуто метод більшості та формування альтернатив за допомогою баєсової мережі.

Створено інтерфейсні елементи та схеми алгоритмів реалізації інформаційної технології у режимах роботи інтерактивної системи групового вибору. Розроблена реалізація засобів подання інформативних даних забезпечує

можливість детального аналізу характеристик об'єкту дослідження, що дозволяє підвищити якість та ефективність реалізації навчального процесу в середовищі інтерактивної системи групового вибору.

Сформовано та детально описано основні модулі інформаційної технології для взаємодії користувачів у розподіленій системі підтримки прийняття групових рішень та визначено їх взаємозв'язок.

Сформульовано основні програмні об'єкти забезпечення функціонування системи підтримки прийняття групових рішень. Результати даного розділу є основою для розробки та дослідження розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень [124].

РОЗДІЛ 4

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ ГРУПОВИХ РІШЕНЬ У РОЗПОДІЛЕНІЙ СИСТЕМІ

Для створення розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень на основі інформаційної технології процесу прийняття групових рішень у розподілених системах:

- запропоновано програмну реалізацію методів підтримки прийняття групових рішень,
- розроблено та програмно реалізовано інтерфейсні елементи локальної та розподіленої систем підтримки прийняття групових рішень,
- написано програмний код.

Також проведено експериментальні дослідження розроблених методів та засобів на базі локальної та розподіленої систем, що дозволило оцінити їх ефективність.

4.1 Реалізація методу медіани Кемені для підтримки прийняття групових рішень

Як один з підходів до реалізації підтримки прийняття групових рішень пропонується використовувати інструменти методу медіани Кемені. Зокрема метод медіани Кемені використовується для пошуку центроїдів кластерів у баєсовій мережі.

Розглянемо алгоритм роботи даного методу та його програмну реалізацію.

Метод медіани Кемені дозволяє безпосередньо побудувати узагальнений вибір користувачів на основі вибору кожного окремого користувача. Дана особливість досягається за допомогою побудови такого ранжування, сумарна

відстань від якого до індивідуальних ранжувань мінімальна, що у свою чергу дозволяє вважати метод медіани Кемені найбільш коректним методом інтегрального оцінювання дій користувачів під час прийняття групових рішень.

Нехай користувачі виконали певну послідовність дій в інтерактивній системі підтримки групового вибору (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Множина елементарних дій

№ дії	U_1	U_2	...	U_n	$F(a_1, a_2, \dots, a_n)$
1	a_2	a_2	...	a_n	a_{i1}
2	a_n	a_3	...	a_3	a_{i2}
...	...	...	...	...	...
N	a_i	a_i	...	a_i	a_{in}

Кожен j -й стовпець відповідає упорядкованій послідовності дій j -го користувача U_j зі списку альтернатив множини можливих дій A_j у середовищі системи підтримки прийняття групових рішень.

У даному випадку, головною задачею забезпечення групового вибору є формування результуючої множини $F(a_1, a_2, \dots, a_n)$ дій за результатами індивідуальних дій кожного користувача, причому F повинна бути розташована якнайближче до множин альтернативних дій кожного користувача $A_1, A_2, \dots, A_N$. Таку результуючу множину дій F^* можна розглядати як медіану Кемені:

$$F^*(a_1, \dots, a_n) = \arg \min_F \sum_{v=1}^N d(A_1, A_v), \text{ де } d(A_1, A_v) - \text{відстань між множинами можливих дій } A_1 \text{ і } A_v.$$

Матриця відношень $M(A)$ множини A будується як матриця $n \times n$, де n - число об'єктів у множині дій (рис. 4.1).

Group Decision Making System						
File Help Next						
Relation Matrices						
M(P1)	0	-1	1	1	1	1
	1	0	1	1	1	1
	-1	-1	0	-1	-1	-1
	-1	-1	1	0	1	-1
	-1	-1	1	-1	0	-1
	-1	-1	1	1	1	0
M(P2)	0	-1	1	1	1	1
	1	0	1	1	1	1
	-1	-1	0	-1	-1	-1
	-1	-1	1	0	1	-1
	-1	-1	1	-1	0	-1
	-1	-1	1	1	1	0
M(P3)	0	-1	1	1	1	1
	1	0	1	1	1	1
	-1	-1	0	-1	-1	-1
	-1	-1	1	0	1	-1
	-1	-1	1	-1	0	-1
	-1	-1	1	1	1	0
M(P4)	0	-1	1	1	1	1
	1	0	1	1	1	1
	-1	-1	0	-1	-1	-1
	-1	-1	1	0	1	-1
	-1	-1	1	-1	0	-1
	-1	-1	1	1	1	0
M(P5)	0	-1	1	1	1	1
	1	0	1	1	1	1
	-1	-1	0	-1	-1	-1
	-1	-1	1	0	1	-1
	-1	-1	1	-1	0	-1
	-1	-1	1	1	1	0
M(P6)	0	-1	1	1	1	1
	1	0	1	1	1	1
	-1	-1	0	-1	-1	-1
	-1	-1	1	0	1	-1
	-1	-1	1	-1	0	-1
	-1	-1	1	1	1	0
M(P7)	0	-1	1	1	1	1
	1	0	1	1	1	1
	-1	-1	0	-1	-1	-1
	-1	-1	1	0	1	-1
	-1	-1	1	-1	0	-1
	-1	-1	1	1	1	0
M(P8)	0	-1	1	1	1	1
	1	0	1	1	1	1
	-1	-1	0	-1	-1	-1
	-1	-1	1	0	1	-1
	-1	-1	1	-1	0	-1
	-1	-1	1	1	1	0
M(P9)	0	1	1	1	1	1
	-1	0	-1	1	1	1
	-1	1	0	1	1	1
	-1	-1	-1	0	1	1
	-1	-1	-1	-1	0	1
	-1	-1	-1	-1	-1	0
M(P10)	0	1	1	1	1	1
	-1	0	-1	1	1	1
	-1	1	0	1	1	1
	-1	-1	-1	0	1	1
	-1	-1	-1	-1	0	1
	-1	-1	-1	-1	-1	0
M(P11)	0	1	1	1	1	1
	-1	0	-1	1	1	1
	-1	1	0	1	1	1
	-1	-1	-1	0	1	1
	-1	-1	-1	-1	0	1
	-1	-1	-1	-1	-1	0
M(P12)	0	1	1	1	1	1
	-1	0	-1	1	1	1
	-1	1	0	1	1	1
	-1	-1	-1	0	1	1
	-1	-1	-1	-1	0	1
	-1	-1	-1	-1	-1	0
M(P13)	0	-1	1	1	1	1
	1	0	1	1	1	1
	-1	-1	0	-1	-1	-1
	-1	-1	1	0	1	-1
	-1	-1	1	-1	0	-1
	-1	-1	1	1	1	0
M(P14)	0	-1	1	1	1	1
	1	0	1	1	1	1
	-1	-1	0	-1	-1	-1
	-1	-1	1	0	1	-1
	-1	-1	1	-1	0	-1
	-1	-1	1	1	1	0
M(P15)	0	-1	1	1	1	1
	1	0	1	1	1	1
	-1	-1	0	-1	-1	-1
	-1	-1	1	0	1	-1
	-1	-1	1	-1	0	-1
	-1	-1	1	1	1	0
M(P16)	0	-1	1	1	1	1
	1	0	1	1	1	1
	-1	-1	0	-1	-1	-1
	-1	-1	1	0	1	-1
	-1	-1	1	-1	0	-1
	-1	-1	1	1	1	0

Рисунок 4.1 – Матриця відношень

У матриці втрат Q нумерація рядків і стовпців збігається, причому рядки і

стовпці з визначеними номерами відповідають альтернативі з такою ж нумерацією. Задача знаходження медіани Кемені для множин дій може бути сформульована як задача визначення такого упорядкування альтернативних дій (а, отже, рядків і стовпців матриці Q), щоб сума елементів матриці, розташованих над діагоналлю, була мінімальною. У результаті програмного виконання алгоритму одержимо множину дій A_2 , для якої виконуються необхідні умови оптимальності (рис. 4.2).

Group Decision Making System																
File Help Next																
Q matrix																
Q =	16	24	0	0	0	0										
	8	16	8	0	0	0										
	32	24	16	24	24	24										
	32	32	8	16	0	24										
	32	32	8	32	16	24										
	32	32	8	8	8	16										
User actions																
	User1	User2	User3	User4	User5	User6	User7	User8	User9	User10	User11	User12	User13	User14	User15	User16
s1	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a1	a1	a1	a1	a2	a2	a2	a2
s2	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a3	a3	a3	a3	a1	a1	a1	a1
s3	a6	a6	a6	a6	a6	a6	a6	a6	a2	a2	a2	a2	a6	a6	a6	a6
s4	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4
s5	a5	a5	a5	a5	a5	a5	a5	a5	a5	a5	a5	a5	a5	a5	a5	a5
s6	a3	a3	a3	a3	a3	a3	a3	a3	a6	a6	a6	a6	a3	a3	a3	a3
Integral result																
Si - step																
Ai - action																
s1	a2															
s2	a1															
s3	a6															
s4	a4															
s5	a3															
s6	a5															

Рисунок 4.2 – Результуюча множина дій користувачів за умовами оптимальності

Використання методу медіани Кемені для інтегральної оцінки дій користувачів під час групового прийняття рішень, програмно реалізовано та отримано свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №23007 від 3.12.2007 р. [127].

4.2 Розробка інтерфейсних елементів локальної системи підтримки прийняття групових рішень

Робота з системою підтримки прийняття групових рішень починається із запуску на виконання файлу edusys.exe. Після запуску програми на екрані користувача з'являється головне вікно локальної системи підтримки прийняття групових рішень, яке складається з двох візуальних панелей: панелі прийняття групових рішень та панелі побудови програмного коду. У верхній частині головного вікна системи міститься стрічка меню, яка дозволяє запускати систему, зупиняти її та обирати режим роботи системи (рис. 4.3).



Рисунок 4.3 – Інтерфейс меню системи

У нижньому лівому кутку головного вікна системи міститься індикатор-показчик відведеного на прийняття рішення часу (рис. 4.4). Даний індикатор дозволяє користувачам оцінити скільки часу у них залишилося для обрання альтернативи. Після повного заповнення індикатору зеленим кольором – час вважається витраченим і не прийняті користувачами рішення вважаються неправильними.



Рисунок 4.4 – Вигляд панелі індикатора часу

Процес формування комплексного рішення у такій системі складається з декількох основних етапів. Розглянемо кожен з них детальніше:

1. Авторизація користувача-адміністратора та вибір режиму роботи системи (рис. 4.5).

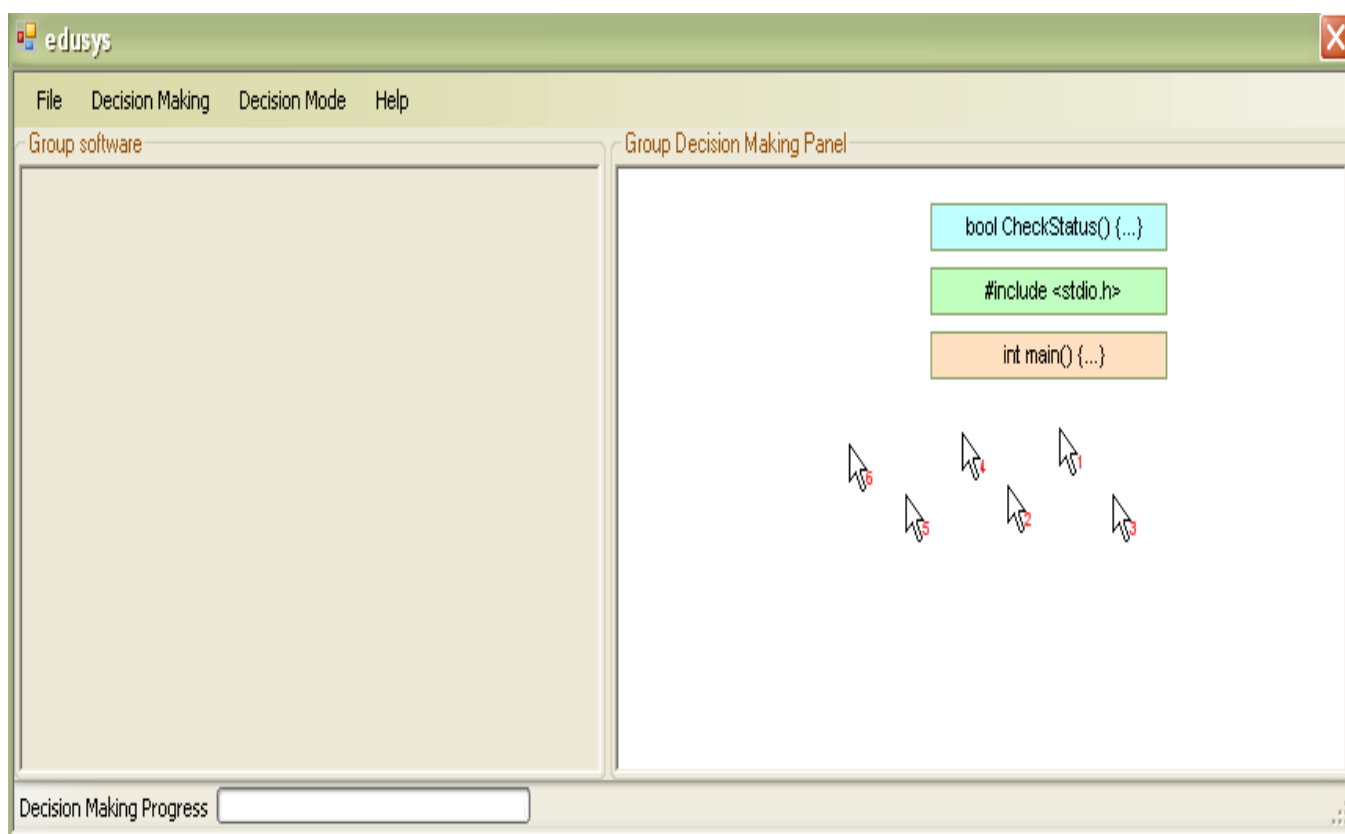


Рисунок 4.5 – Інтерфейс головного вікна системи

На першому етапі роботи системи відбувається ідентифікація користувача-адміністратора шляхом визначення апаратного ідентифікатора його USB-пристрою. Після ідентифікації система кожного наступного разу буде розпізнавати визначений USB-пристрій як користувача-адміністратора.

2. Авторизація користувачів, які задіяні у навчальному процесі. Користувачі приєднують свої USB-пристрої до системи, відбувається ідентифікація кожного користувача та призначення їм унікальних ідентифікаторів, за якими вони будуть розпізнаватися системою.

3. Вибір режиму роботи (рис. 4.6). Користувач-адміністратор обирає режим роботи в якому буде здійснюватися процес прийняття групових рішень (режим роботи за методом більшості або режим роботи з використанням баєсових мереж).

4. Отримання інформації від користувачів. Після ідентифікації користувачів та вибору режиму роботи користувач-адміністратор запускає систему відліку часу (рис. 4.7).

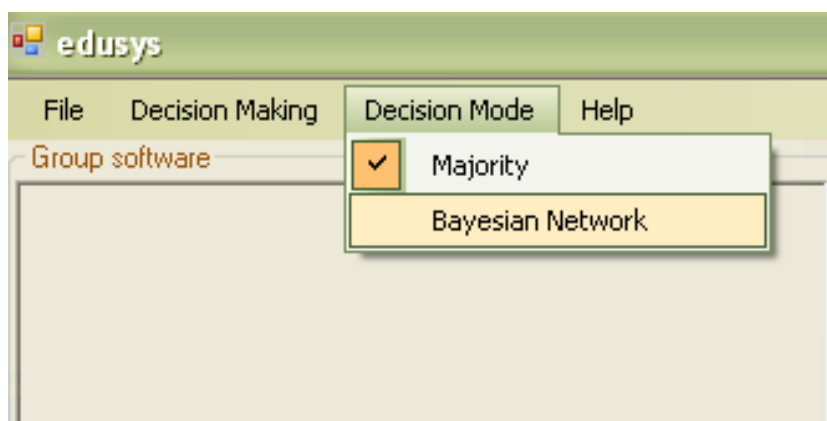


Рисунок 4.6 – Вибір режиму роботи

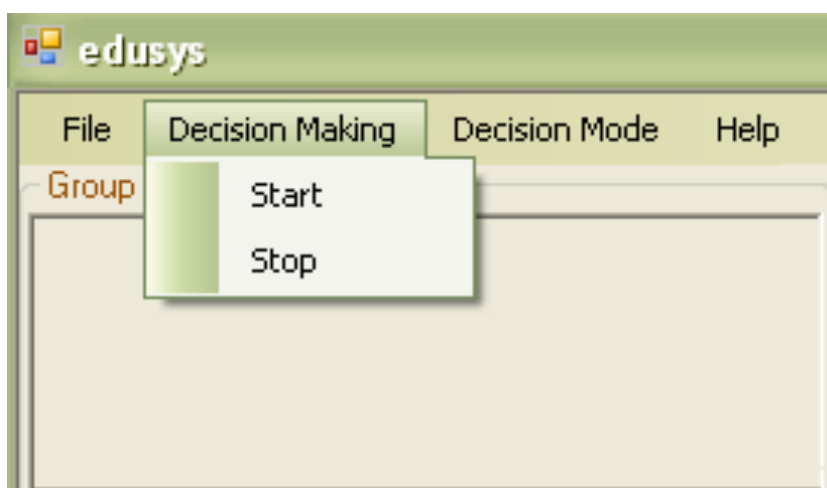


Рисунок 4.7 – Запуск системи

На кожний блок завдань користувачам відводиться певна кількість часу. Якщо протягом відведеного часу користувачі не зробили свій вибір, то система робить висновок, що рішення прийнято не правильно і зараховує дане завдання як

невиконане. У режимі за методом більшості користувачам виводяться всі наявні альтернативи одразу. У режимі з використанням баєсової мережі користувачам виводяться лише найбільш ймовірні альтернативи. Під час даного кроку користувачі обирають найбільш ймовірні, з їх точки зору, альтернативи.

6. Отримана з попереднього кроку інформація обробляється системою. У випадку режиму роботи за методом більшості система аналізує всі обрані альтернативи, та шукає ту альтернативу, яку обрали більшість користувачів. Якщо цього не відбувається, рішення системою не приймається і користувачам надається можливість зробити свій вибір ще раз. Попереднє рішення зараховується користувачам як неправильне.

У випадку режиму роботи з використанням баєсової мережі система аналізує всі обрані альтернативи та відбувається перерахунок апіорних ймовірностей появи наступних альтернатив. Апіорні ймовірності появи альтернатив забезпечуються синтаксичним аналізатором програмного коду, який здійснює аналіз ймовірностей появи наступної альтернативи, при умові, що обрана дана альтернатива. Після перерахунку апостеріорні ймовірності обробляються системою та користувачам виводяться для вибору наступні найбільш ймовірні альтернативи. Рішення приймається системою за апіорними ймовірностями, навіть якщо жоден з користувачів не зробив свій вибір. У цьому випадку користувачам дане рішення зараховується як неправильне. Даний крок повторюється системою до закінчення наявних альтернатив (рис. 4.8).

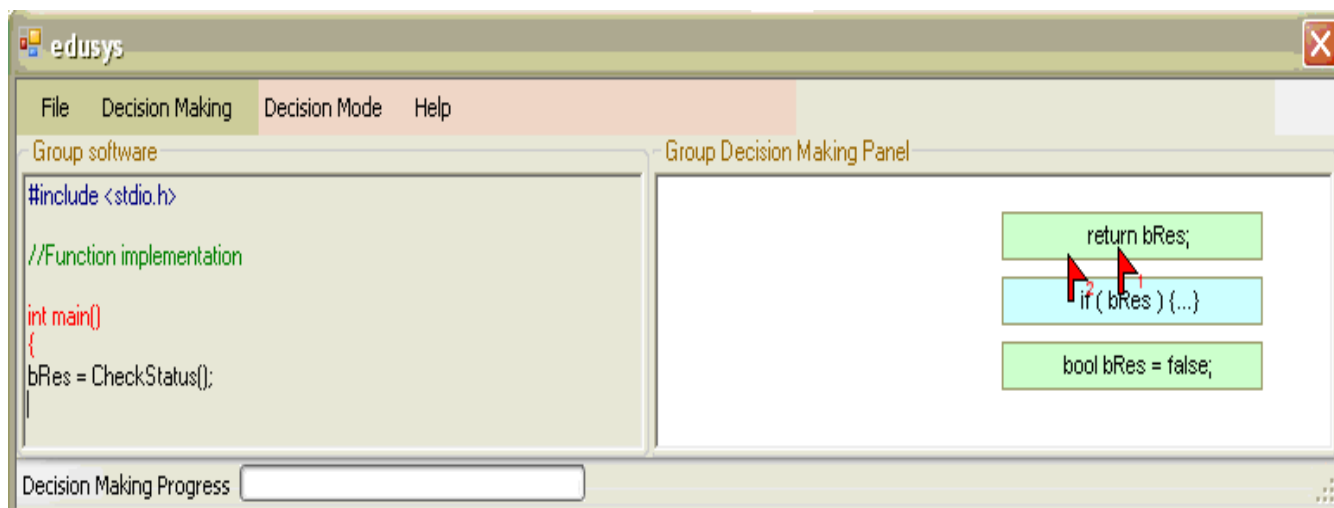


Рисунок 4.8 – Процес вибору альтернатив

7. Формування комплексного оцінювання. Система здійснює моніторинг дій користувачів системи і після закінчення наявних альтернатив виводить кількість правильних та неправильних відповідей для кожного користувача (рис. 4.9).

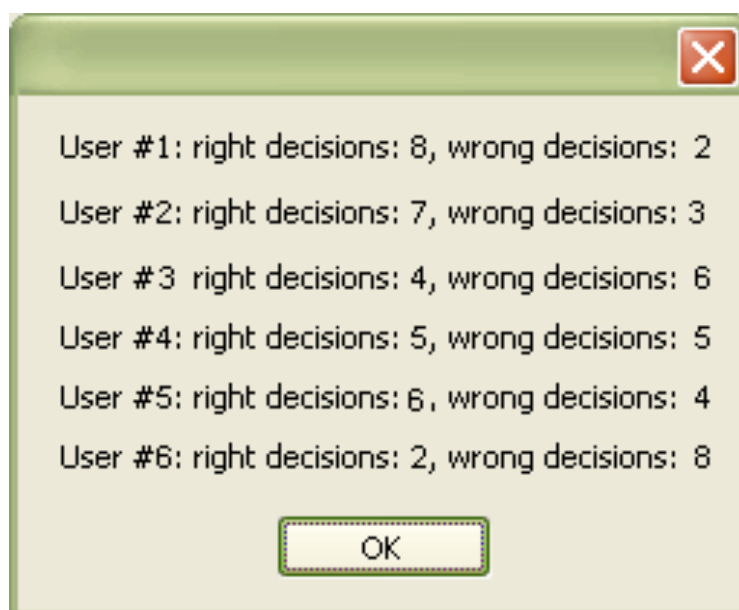


Рисунок 4.9 – Кількість відповідей для кожного користувача

Ці дані можуть бути використані для проведення комплексного оцінювання

кожного користувача особисто та всієї команди користувачів. Для закінчення роботи з програмою системи підтримки прийняття групових рішень користувач-адміністратор повинен зупинити роботу системи шляхом вибору пункту меню «Decision Making» та обрання опції «Stop», в іншому випадку система закінчить свою роботу, як тільки будуть обрані всі наявні альтернативи. Розроблена локальна система підтримки прийняття групових рішень програмно реалізована та отримано свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №25844 від 25.09.2008 р.

4.3 Розробка інтерфейсних елементів розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень

Для початку роботи сервера необхідно запустити на виконання файл WcfMultiPointService.exe. Для цього користувач повинен мати права адміністратора на комп'ютері, на якому здійснюється запуск сервера. У випадку конфлікту з антивірусною програмою, також, можливо необхідно буде відключити антивірусну програму на час роботи з розподіленою системою підтримки прийняття групових рішень. Сервер готовий до роботи. Інтерфейс сервера розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень подано на рис. 4.10.

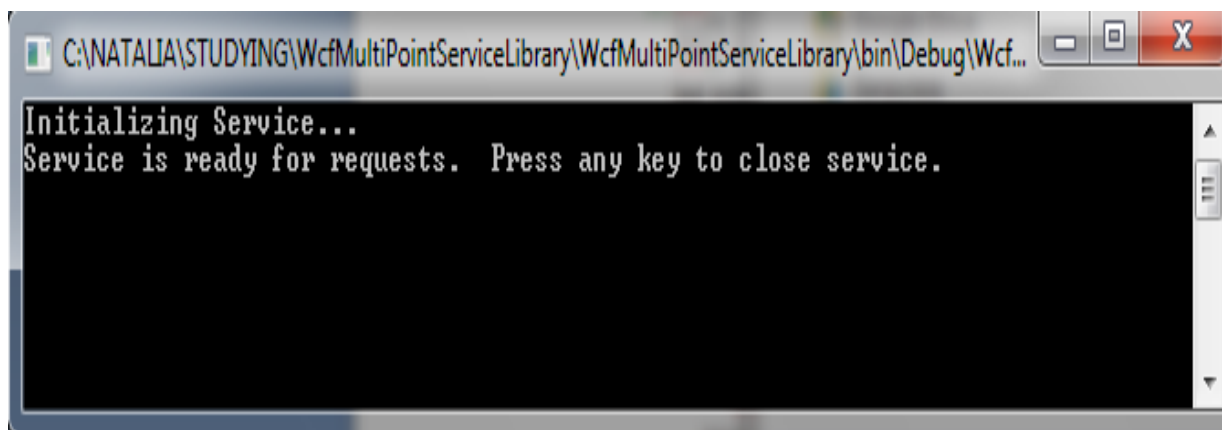


Рисунок 4.10 – Інтерфейс сервера системи підтримки прийняття групових рішень

Для початку роботи з розподіленою системою підтримки прийняття групових рішень, користувачеві, після підтвердження роботи серверу, необхідно запустити на виконання файл клієнта системи під назвою: MultiPointClient.exe. Як і у випадку запуску серверу для цього теж необхідно мати права користувача-адміністратора на даному комп'ютері. Якщо сервер не запущений, у користувача не буде змоги підключитися до системи та прийняти участь у виборі альтернатив. Детальний інтерфейс головного вікна прийняття рішень користувачами подано на рис. 4.11.

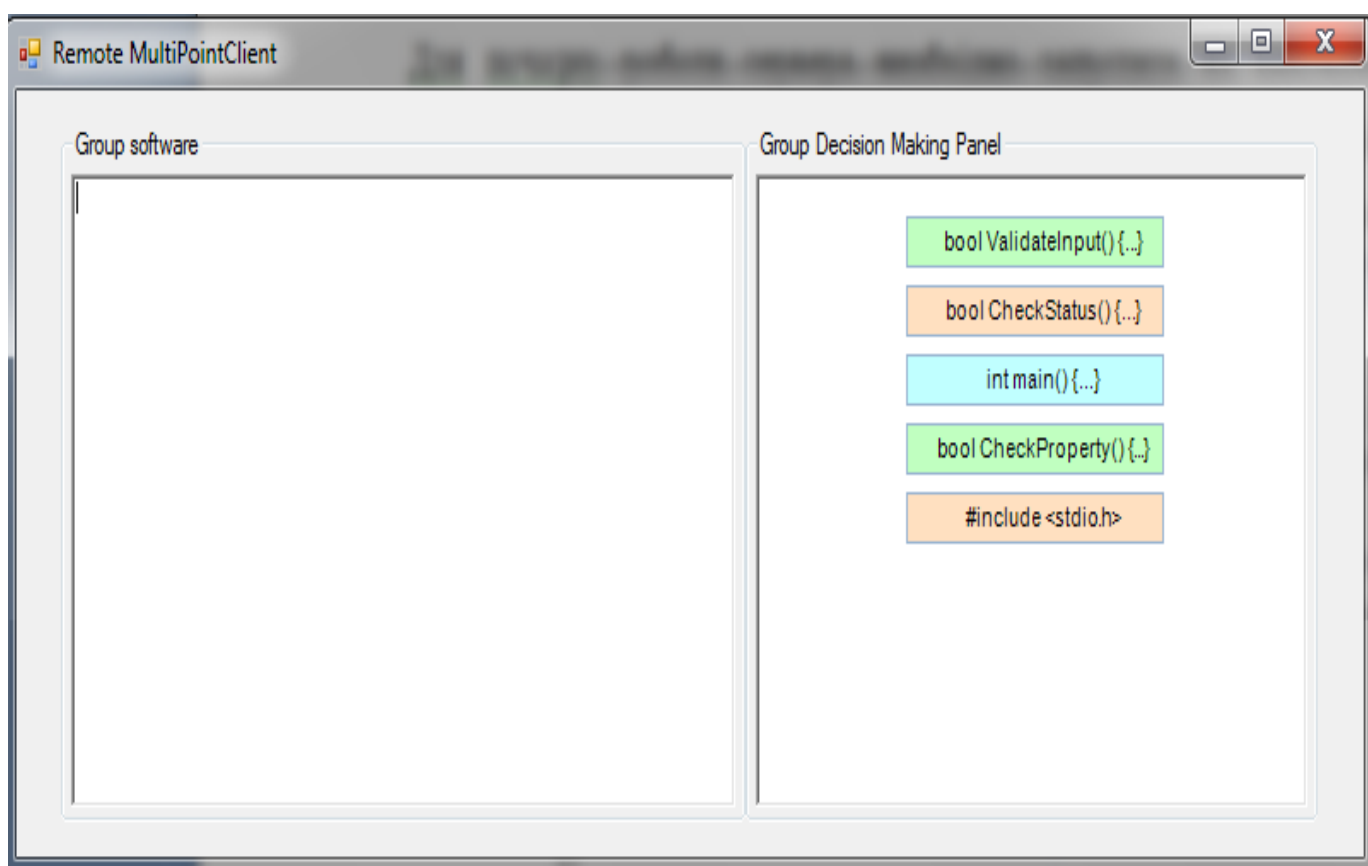


Рисунок 4.11 – Інтерфейс головного вікна прийняття рішень користувачами

Кожен підключений користувач визначається системою як унікальний та його курсору присвоюється ідентифікаційний номер, за яким користувач у подальшому і буде ідентифікуватися системою для фіксування та оцінки

результатів вибору альтернатив (рис. 4.12). Номера користувачам присвоюються у порядку зростання: від 1 до N . Якщо користувач від'єднався від системи під час проведення сеансу прийняття рішень, то його порядковий номер може бути присвоєний наступному користувачеві, що під'єднається до розподіленої системи. Обрані користувачами альтернативи фіксують та позначаються прапорцем із зазначенням ідентифікаційного номера користувача, який зробив вибір. У випадку методу більшості для вибору визначеної альтернативи, необхідно, щоб більше половини прапорців сконцентровані на цій альтернативі, принцип з використанням баєсової мережі не потребує такої концентрації прапорців, оскільки рішення буде прийнято, навіть, якщо жоден із користувачів не зробив свій вибір. Приклад обрання користувачами альтернатив подано на рис. 4.13.

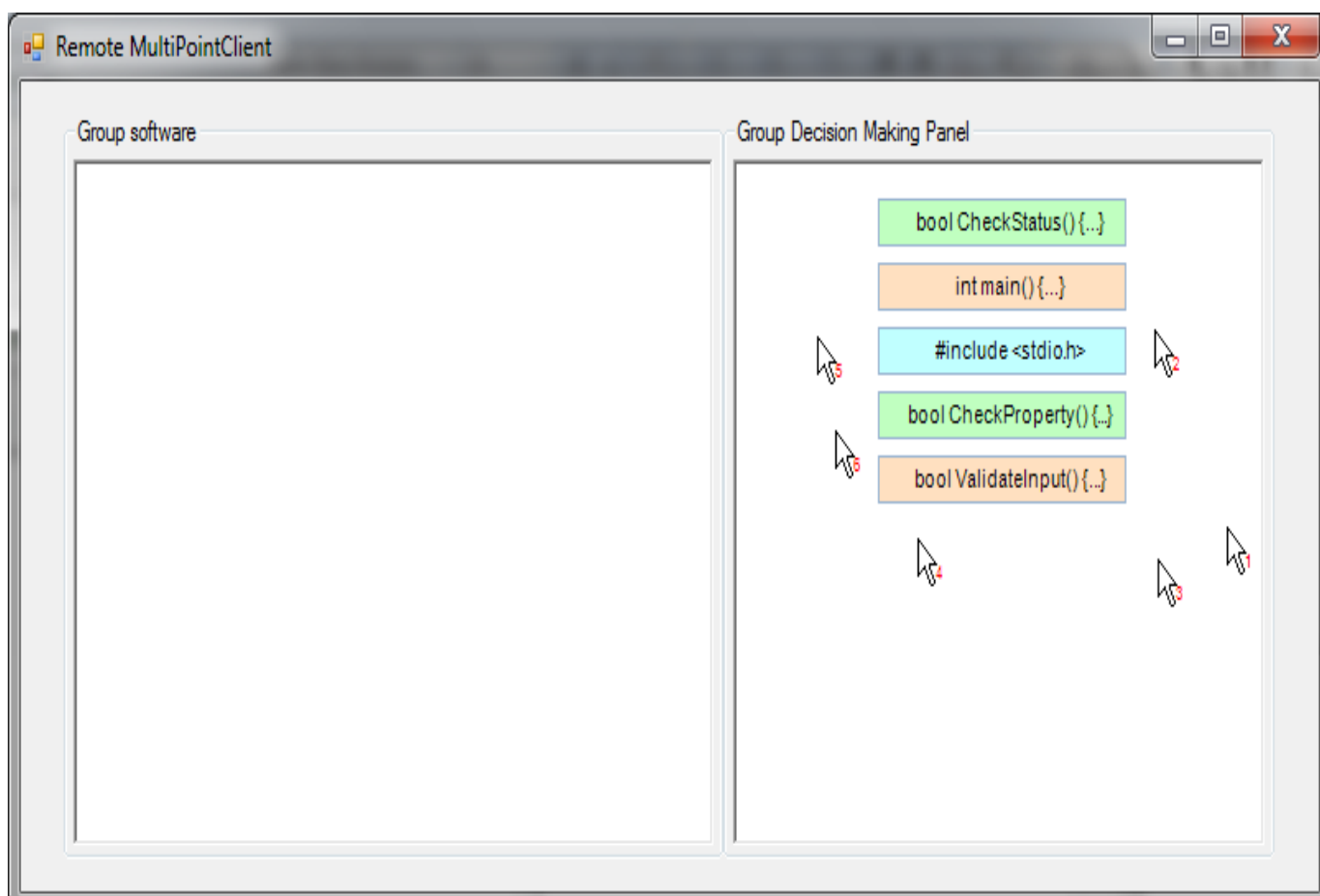


Рисунок 4.12 – Ідентифікація користувачів за пристроями вводу

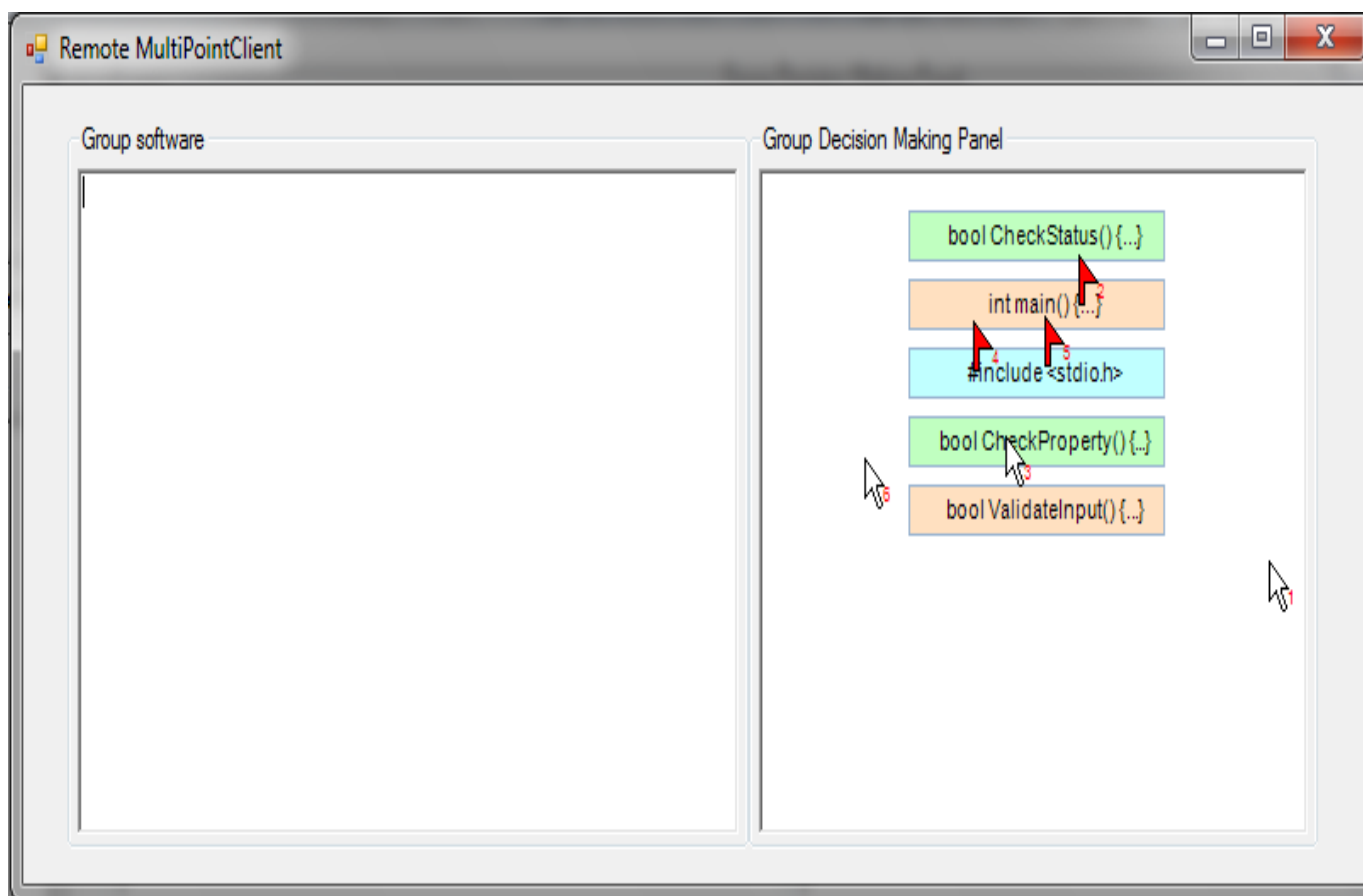


Рисунок 4.13 – Приклад обрання альтернатив користувачами

Головне вікно розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень складається з двох основних частин, які візуально розділяють головне вікно навпіл: Group software та Group decision making panel.

Group decision making panel – частина основного інтерфейсу системи, що відображає підмножину можливих альтернатив на даний момент часу. У випадку обрання прийняття рішень за методом більшості, панель відображає альтернативи, сформовані синтаксичним аналізатором програмного коду. У випадку обрання прийняття рішень за допомогою баєсової мережі, панель відображає альтернативи, апріорні ймовірності появи яких у програмному коді найбільші.

Дана імовірність визначається на основі результатів синтаксичного аналізатора програмного коду та подальшої обробки цих результатів у баєсовій

мережі, яка дозволяє виводити найбільш ймовірні альтернативи на кожному етапі прийняття рішень користувачами. Приклад виведення елементів підмножини можливих альтернатив наведено на рис. 4.14.

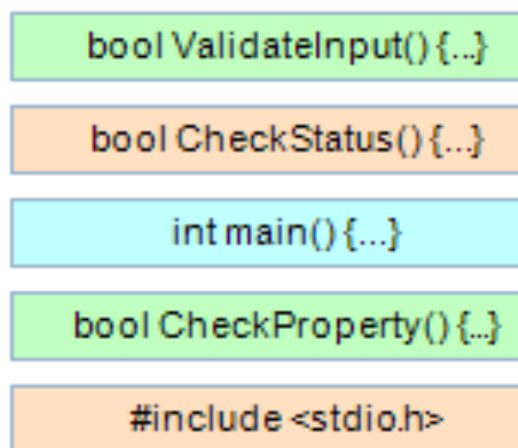


Рисунок 4.14 – Приклад виведення елементів підмножини можливих альтернатив

Після обрання альтернатив з панелі Group decision making panel обрані користувачами альтернативи з’являються у лівій частині головного вікна панелі Group software. Саме у цій панелі і відбувається побудова програмного коду користувачами. Усі обрані рішення формують послідовність у якій елементи з’являються у коді.

Розроблена розподілена система підтримки прийняття групових рішень базується на технології «клієнт-сервер» та використовує платформу Windows Communication Foundation (яка є частиною .NET Framework) для обміну даними між користувачами по мережі [128], [129].

4.4 Експериментальне дослідження розробленої локальної системи підтримки прийняття групових рішень

Для дослідження розроблених методів прийняття групових рішень

проведено групу автоматизованих тестів із використанням технології вибору альтернатив за методом більшості та з використанням принципів баєсових мереж.

Проведення експериментальних тестових завдань дозволило сформувати графік залежностей (рис. 4.15) кількості конфліктних ситуацій від часу виконання завдань. Штриховою лінією зображено залежність при використанні методу більшості, суцільною лінією – при використанні аналітичного апарату баєсових мереж. Під конфліктною ситуацією будемо розуміти стан, при якому система підтримки прийняття групових рішень не може прийняти рішення.

У результаті аналізу побудованого графіка виявлено:

1. При використанні методів прийняття групових рішень за принципом більшості спостерігається поява значно більшої кількості конфліктних ситуацій протягом часу T , виконання поставлених завдань ніж при використанні технології прийняття рішень з використанням принципів баєсової мережі.

2. Поява конфліктних ситуацій під час використання методів підтримки прийняття групових рішень з використанням принципів баєсової мережі, характеризується, як правило, складністю завдань, а при використанні технологій підтримки прийняття групових рішень з використанням методів більшості, як правило, недосконалістю самої технології прийняття рішень.

Отже, використання методів прийняття групових рішень за принципом баєсової мережі дозволило підвищити ефективність розробленої локальної системи підтримки прийняття групових рішень.

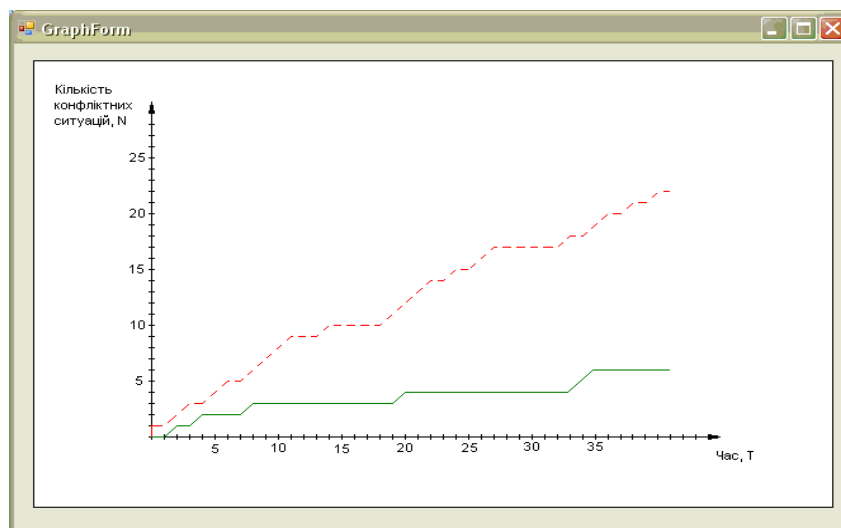


Рисунок 4.15 – Графік залежності кількості конфліктних ситуацій від часу виконання завдання

4.5 Експериментальне дослідження розробленої розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень

Розподілена система підтримки прийняття групових рішень являє собою програмний комплекс, що базується на розроблених інформаційних моделях і технології та включає в себе підсистему прийняття групових рішень за методом більшості та підсистему прийняття групових рішень з використанням баєсової мережі. Розроблена розподілена система забезпечує технічну та інформаційну підтримку користувачів під час прийняття рішень, при цьому дозволяючи перевіряти рівень знань користувачів у галузі, що розглядається.

Зокрема, система адаптована до навчання та тестування студентів під час формування програмного коду, що особливо актуально для студентів, які навчаються на кафедрі програмного забезпечення та вивчають низку дисциплін, які пов'язані з розробкою та аналізом якості програмного коду, зокрема “Конструювання програмного забезпечення” та “Якість програмного забезпечення” а також магістрантів, що навчаються за спеціальністю: “Інженерія

програмного забезпечення” та займаються розробкою програмного коду.

Серед основних характеристик розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень можна виділити такі:

1. Система дозволяє користувачам, які розподілені географічно спільно приймати участь у процесі прийняття рішень у режимі реального часу за допомогою внутрішньої мережі або wifi-з’єднання.

2. Система надає можливість реєструвати послідовність дій усіх користувачів на кожному етапі прийняття рішення у відповідному файлі з розширенням .log для подальшого аналізу та оцінки прийнятих користувачем рішень.

3. На відміну від існуючих систем, розроблена система дозволяє користувачам приймати спільні рішення за допомогою одного з режимів роботи системи під час підтримки прийняття рішень: режим роботи за методом більшості та режим роботи з використанням баєсової мережі. Режим роботи системи за методом більшості дозволяє користувачам працювати як одна команда та перевіряти узагальнений рівень знань групи користувачів. Режим роботи системи з використанням баєсової мережі дозволяє користувачам працювати над прийняттям рішень окремо, при цьому користуючись допомогою баєсової мережі, яка виводить у якості альтернатив найбільш ймовірні варіанти для прийняття рішень.

4. Система не тільки дозволяє користувачам на практиці застосовувати здобуті навички програмування та формування програмного коду з наявних логічних блоків, але й перевіряти при цьому рівень знань кожного користувача та групи користувачів в цілому, що суттєво відрізняє розроблену розподілену систему від існуючих на даний час. Для перевірки працездатності розподіленої системи та її ефективності проведено серію дослідів, результати яких наведені нижче.

На рис. 4.16-4.23 подані графіки часу прийняття рішень користувачами на кожному етапі вибору альтернатив тестового завдання при використанні режиму за методом більшості.

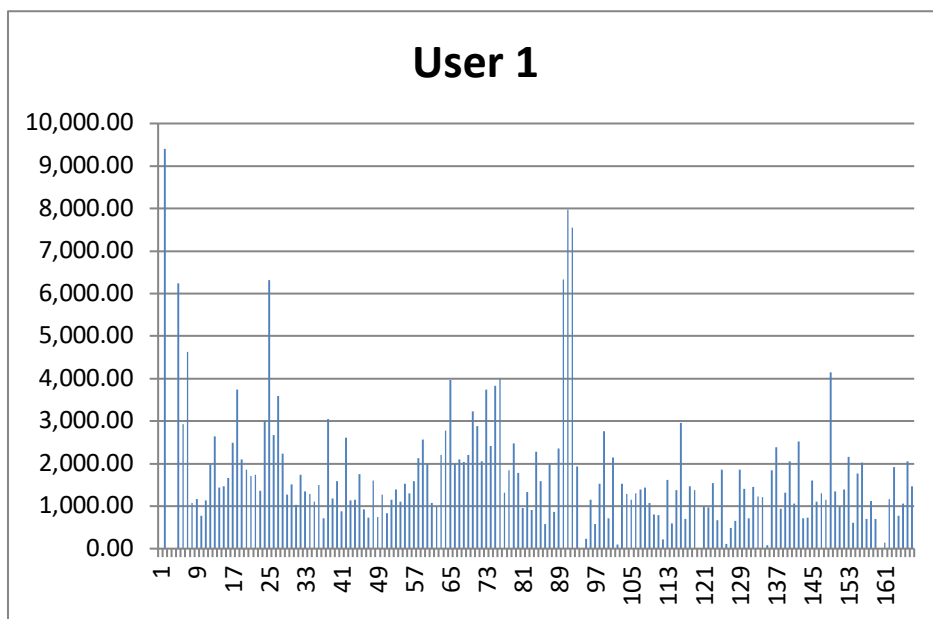


Рисунок 4.16 – Час прийняття рішень першим користувачем

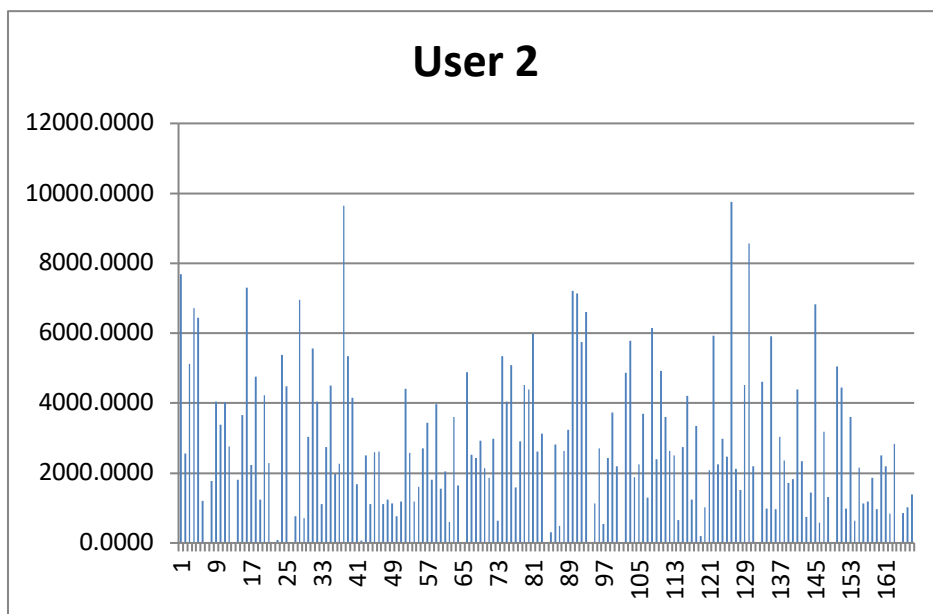


Рисунок 4.17 – Час прийняття рішень другим користувачем

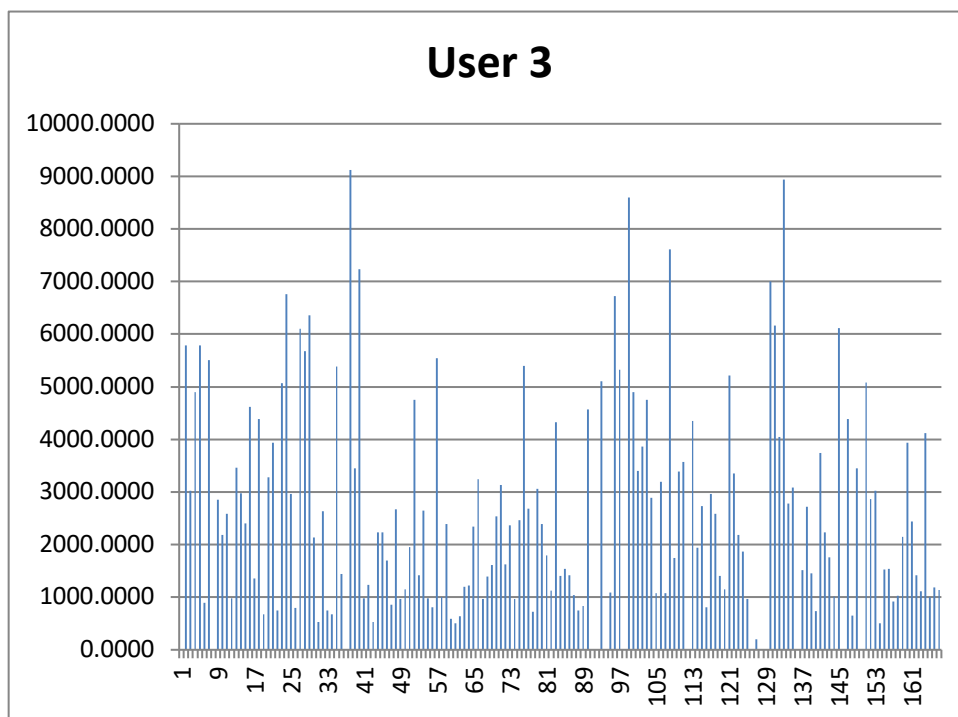


Рисунок 4.18 – Час прийняття рішень третім користувачем

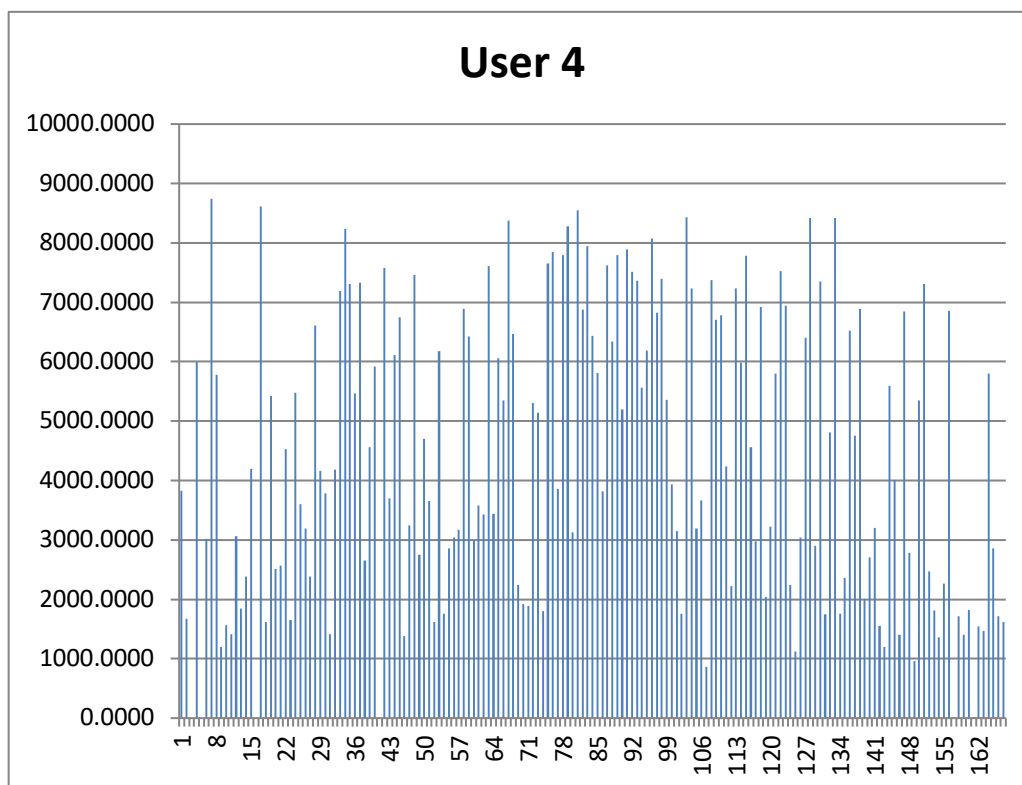


Рисунок 4.19 – Час прийняття рішень четвертим користувачем

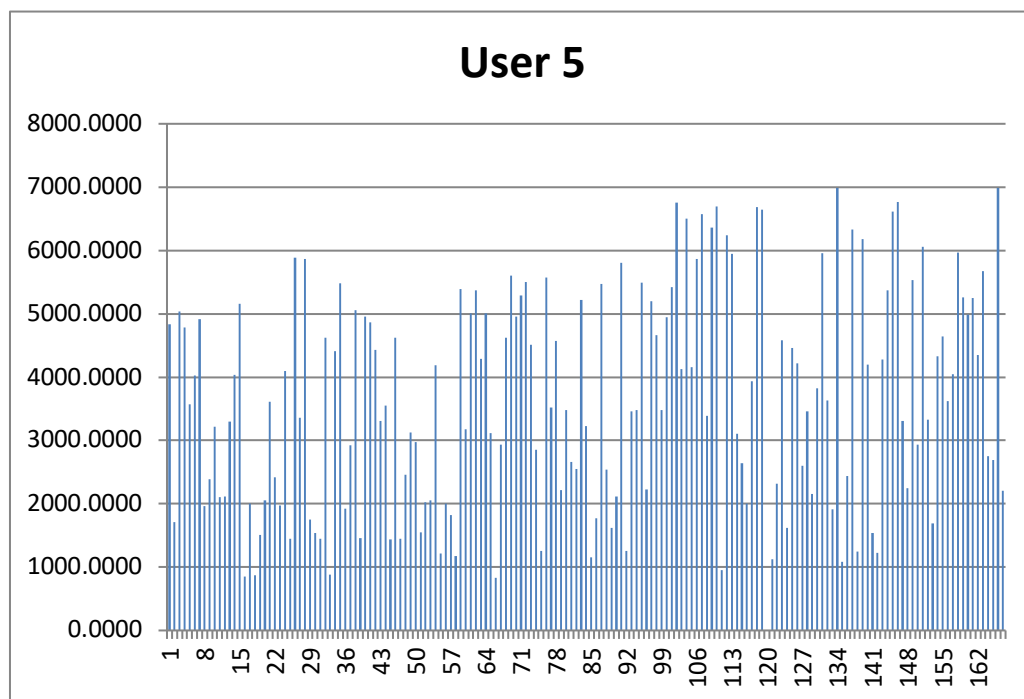


Рисунок 4.20 – Час прийняття рішень п'ятим користувачем

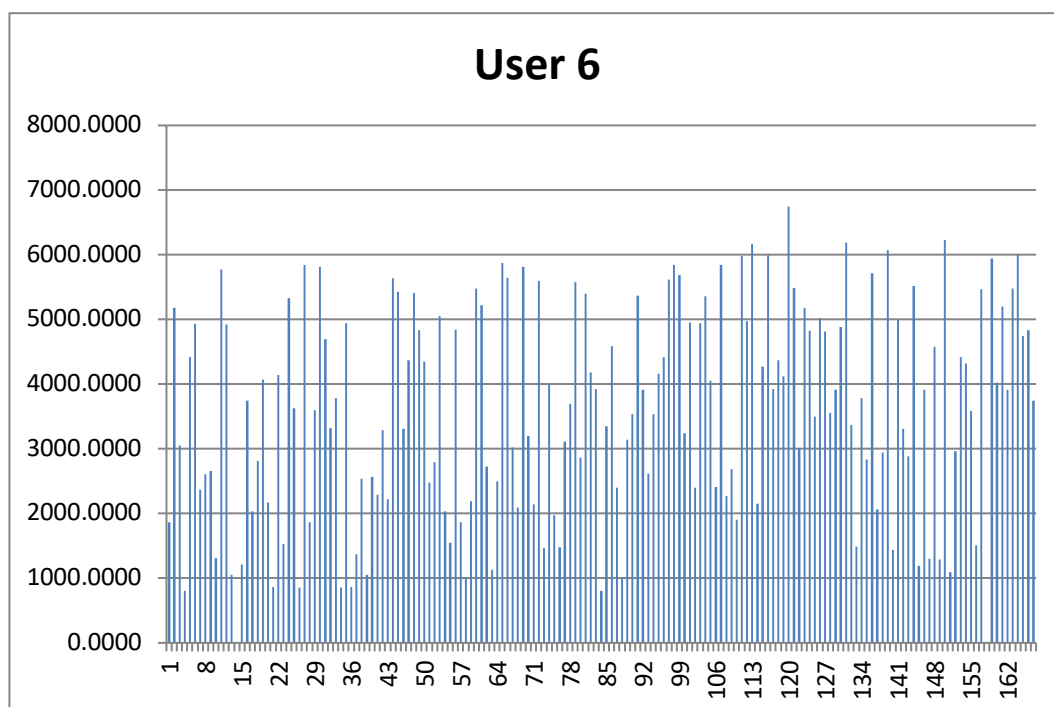


Рисунок 4.21 – Час прийняття рішень шостим користувачем

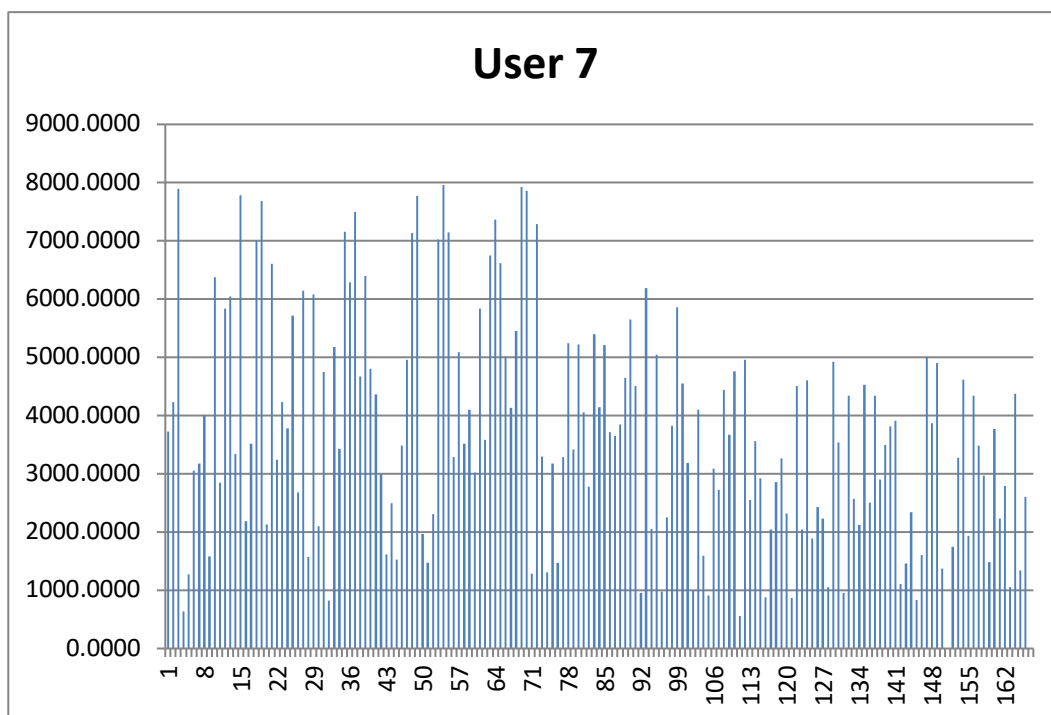


Рисунок 4.22 – Час прийняття рішень сьомим користувачем

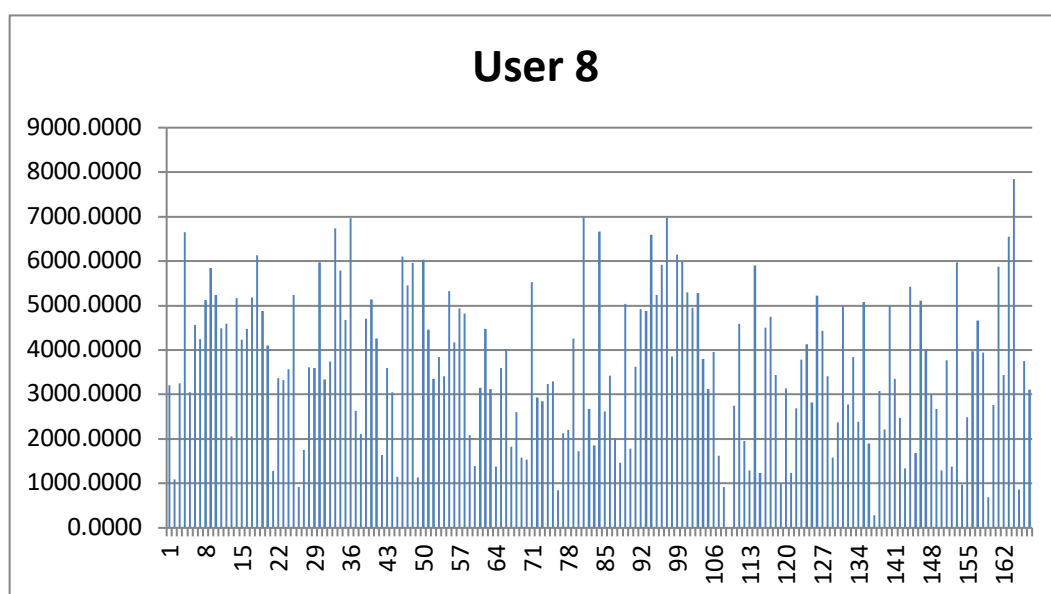


Рисунок 4.23 – Час прийняття рішень восьмим користувачем

Узагальнимо отримані дані, шляхом формування графіку загального часу прийняття рішень кожним користувачем під час виконання тестового завдання (у мілісекундах) при використанні режиму за методом більшості (рис. 4.24):

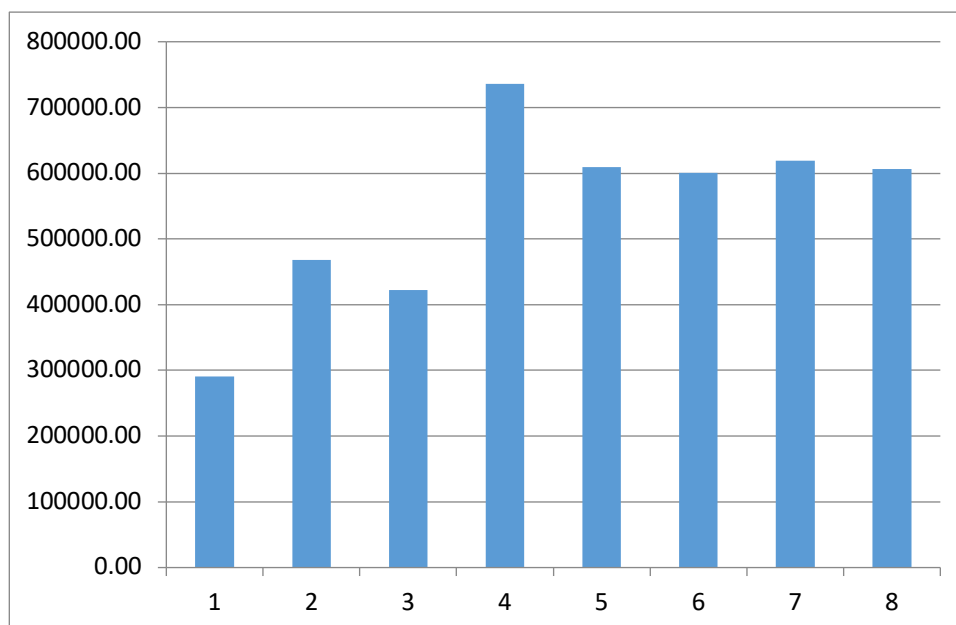


Рисунок 4.24 – Загальний час прийняття рішень користувачами

Далі проаналізуємо якість прийняття рішень кожним користувачем у процесі виконання тестового завдання, для цього визначимо загальну кількість правильних відповідей користувачів на кожному етапі вибору альтернатив при використанні режиму за методом більшості (рис. 4.25):

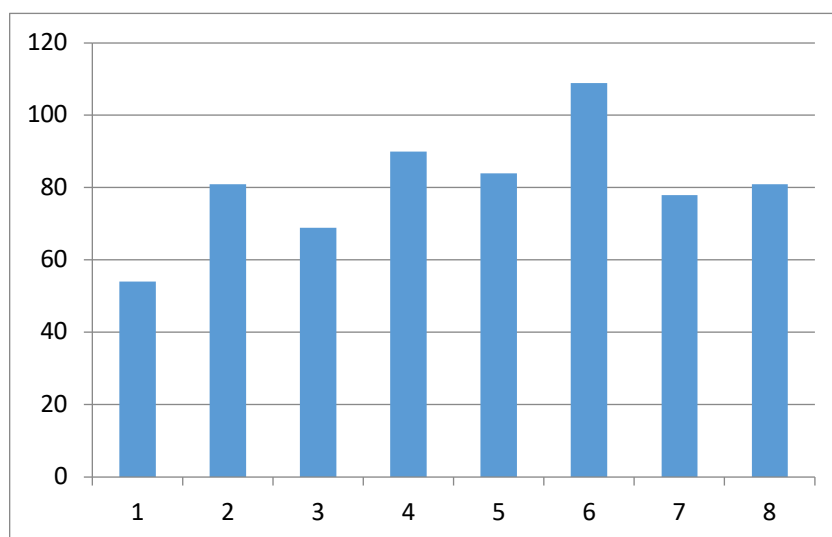


Рисунок 4.25 – Загальна кількість правильних відповідей користувачів під час виконання тестового завдання

Визначимо час прийняття рішень системою на кожному етапі вибору альтернатив при використанні режиму за методом більшості (рис. 4.26):

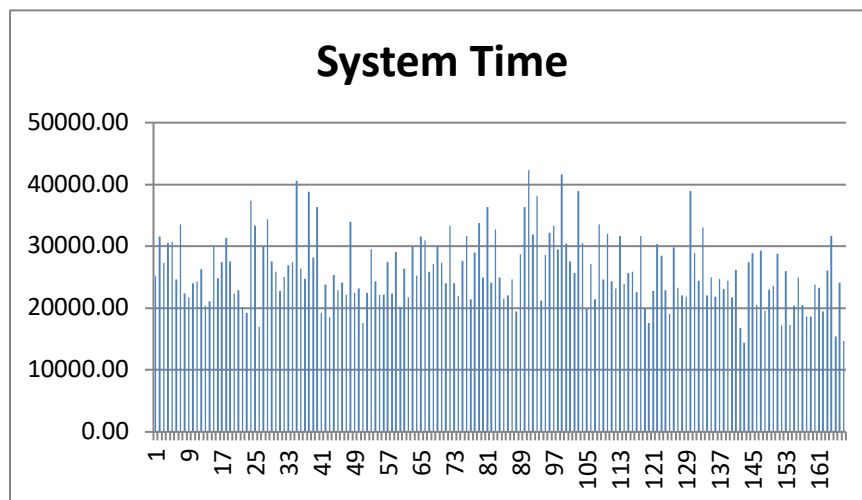


Рисунок 4.26 – Час прийняття рішень системою на кожному етапі вибору альтернатив за методом більшості

Узагальнимо результати шляхом отримання даних по часу прийняття рішень системою для кожного користувача при використанні режиму за методом більшості (рис. 4.27):

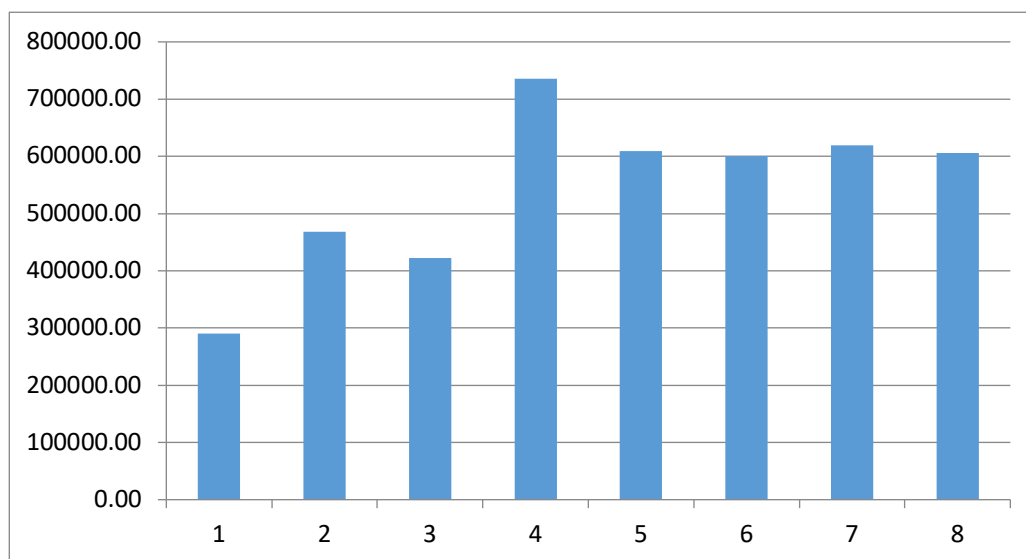


Рисунок 4.27 – Час прийняття рішень системою для кожного користувача при використанні режиму за методом більшості

Визначимо рішення (прийняте/не прийняте) системи на кожному етапі прийняття рішень користувачами при використанні режиму за методом більшості (рис. 4.28) в залежності від кількості користувачів, що прийняли правильне рішення, де 0 – рішення не прийняте (не сформована більшість з групи користувачів), 1 – рішення прийняте (більшість сформована).

На рис. 4.29-4.37 подані графіки часу прийняття рішень користувачами на кожному етапі вибору альтернатив при використанні режиму баєсових мереж.

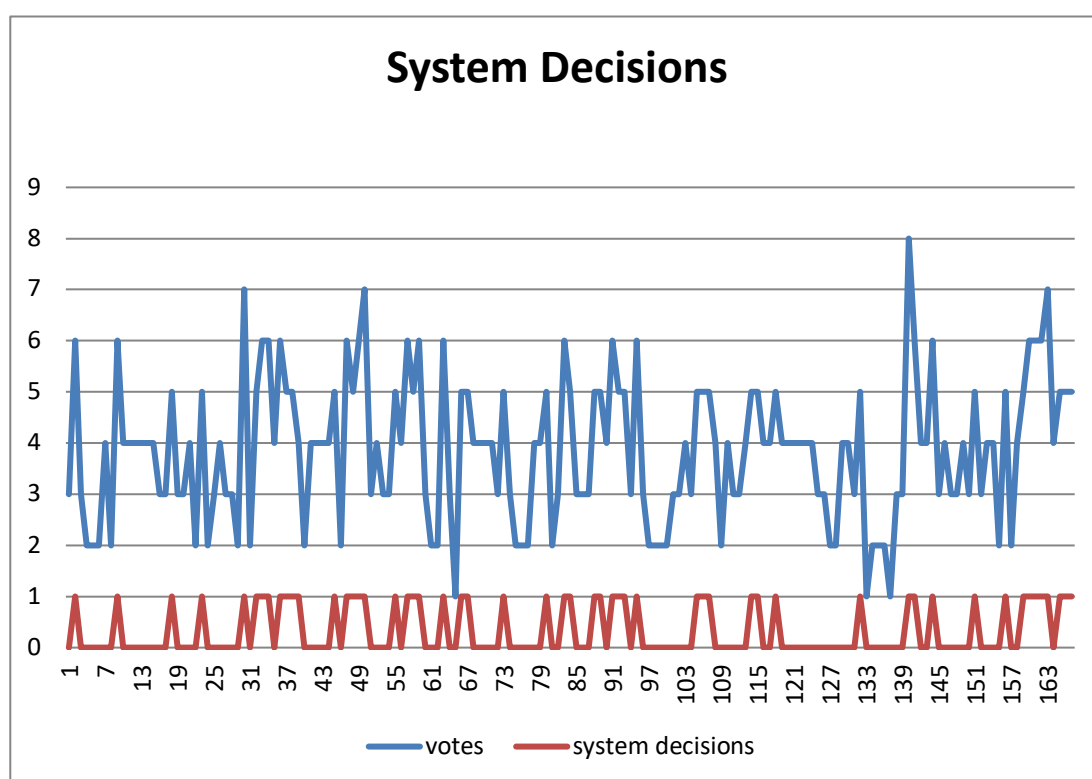


Рисунок 4.28 – Графік залежності прийняття рішень системою від правильності рішення користувачів

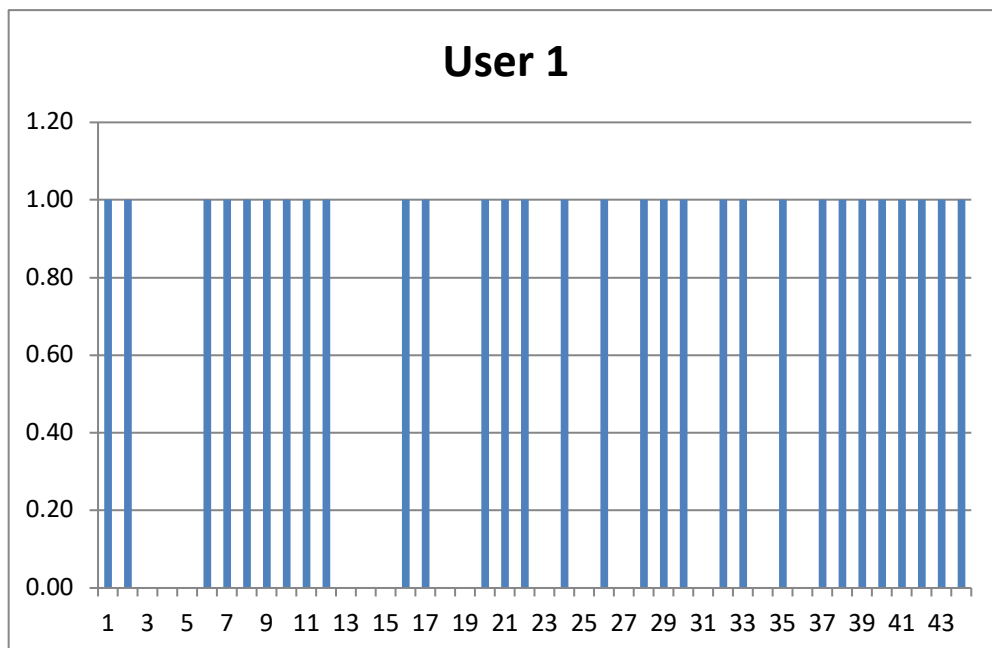


Рисунок 4.29 – Час прийняття рішень першим користувачем

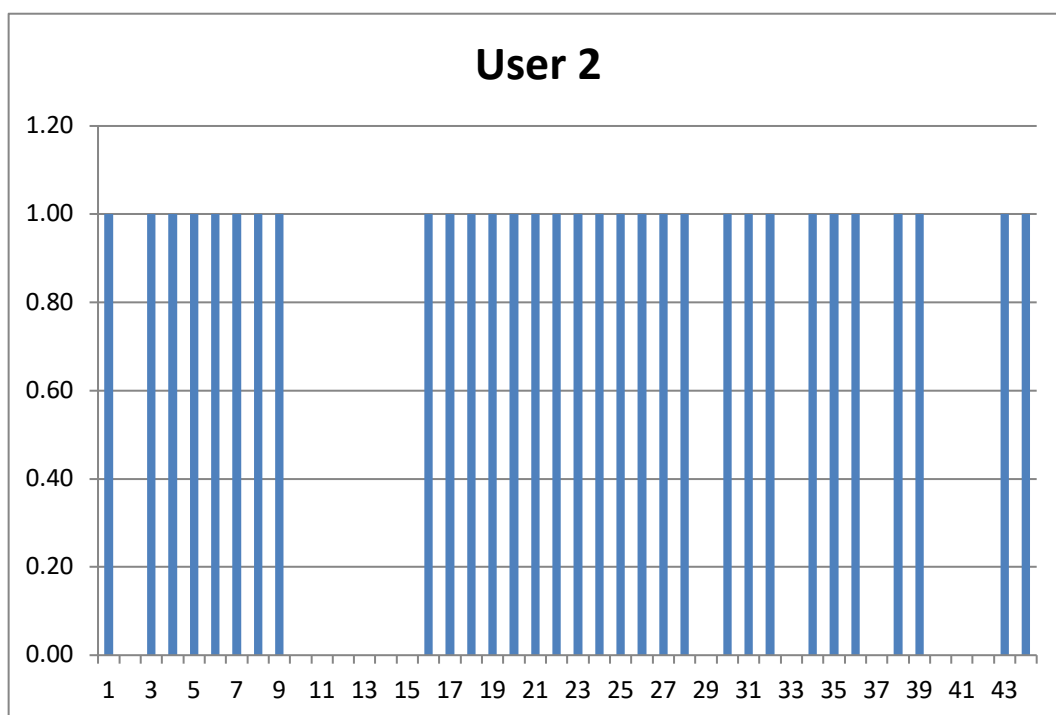


Рисунок 4.30 – Час прийняття рішень другим користувачем

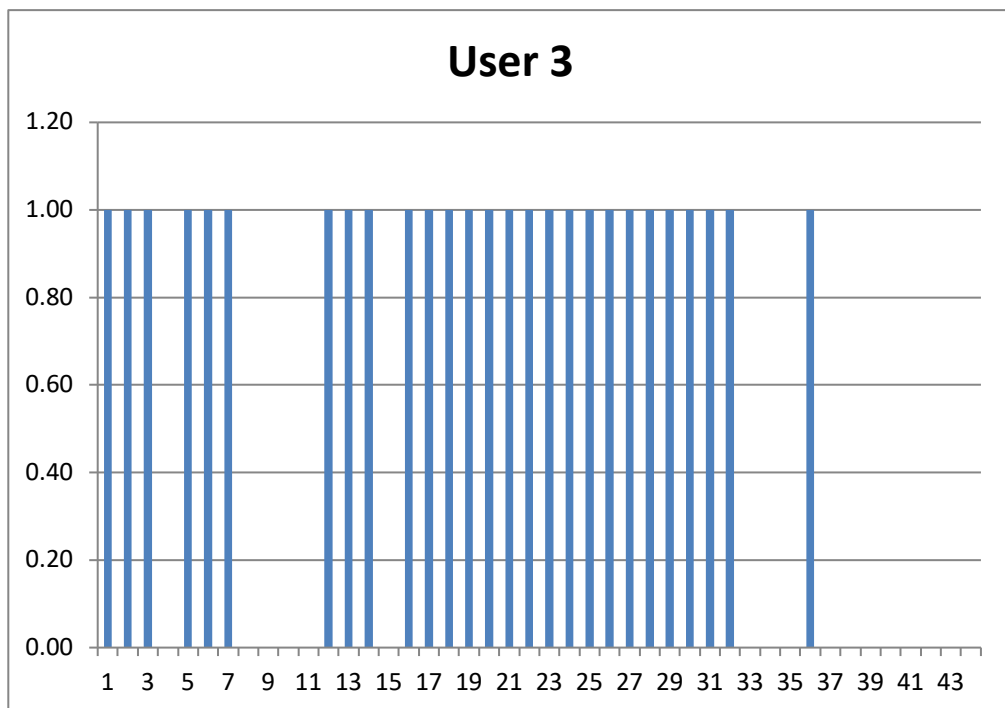


Рисунок 4.31 – Час прийняття рішень третім користувачем

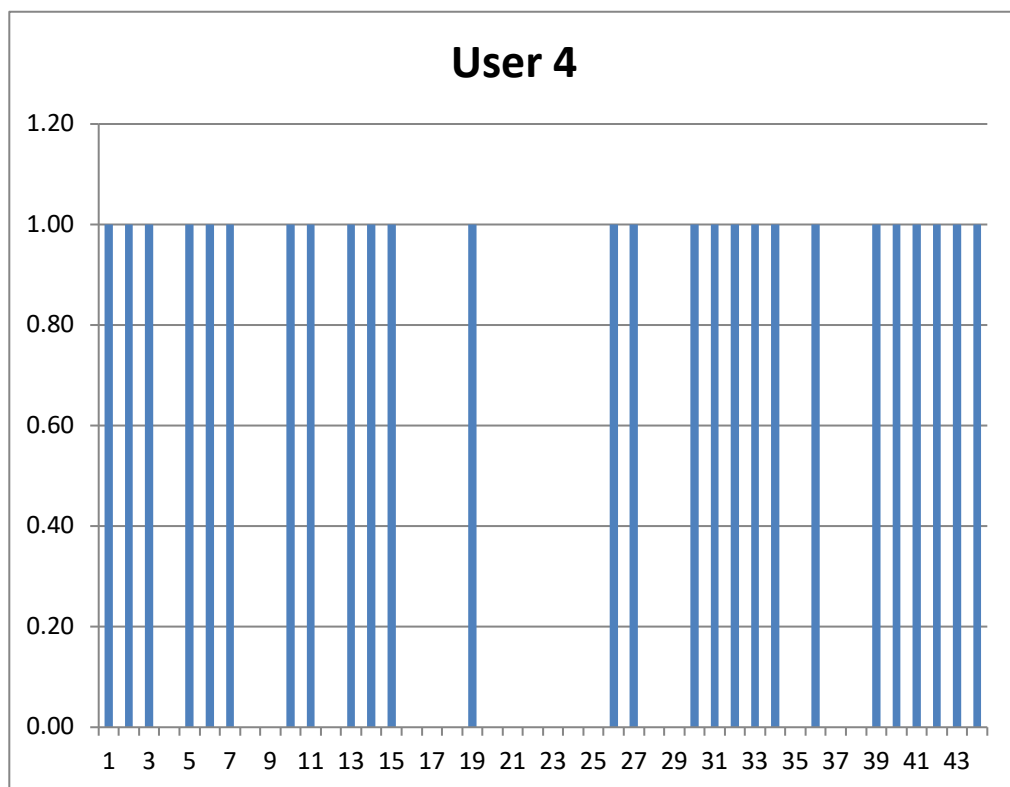


Рисунок 4.32 – Час прийняття рішень четвертим користувачем

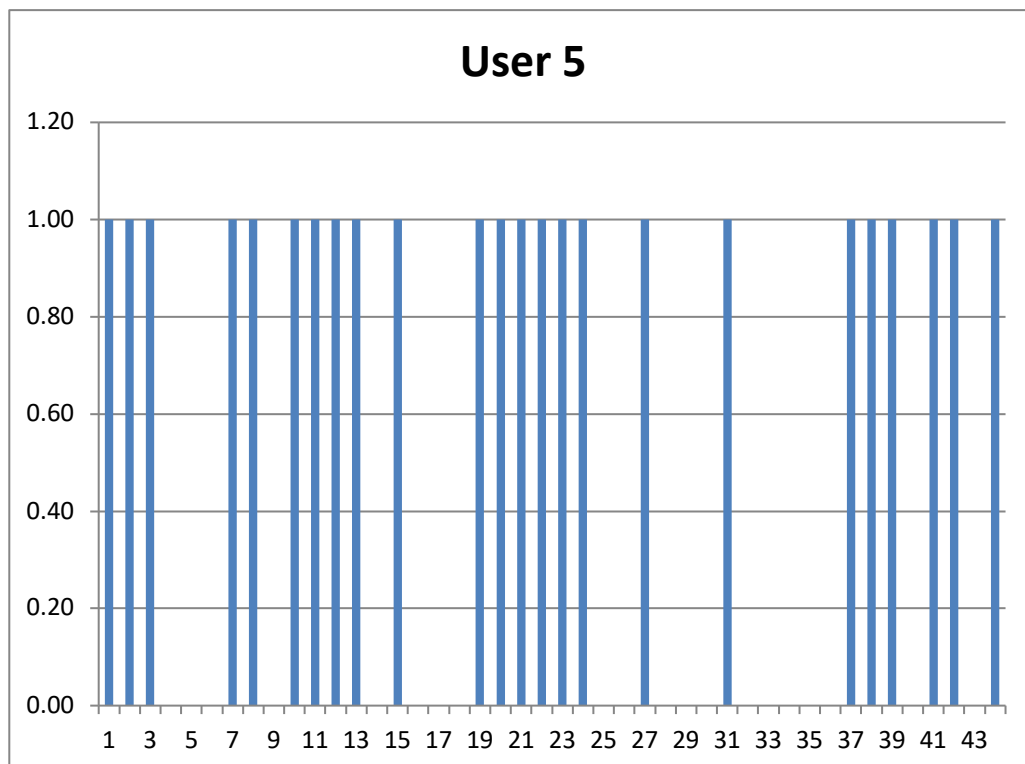


Рисунок 4.33 – Час прийняття рішень п'ятим користувачем

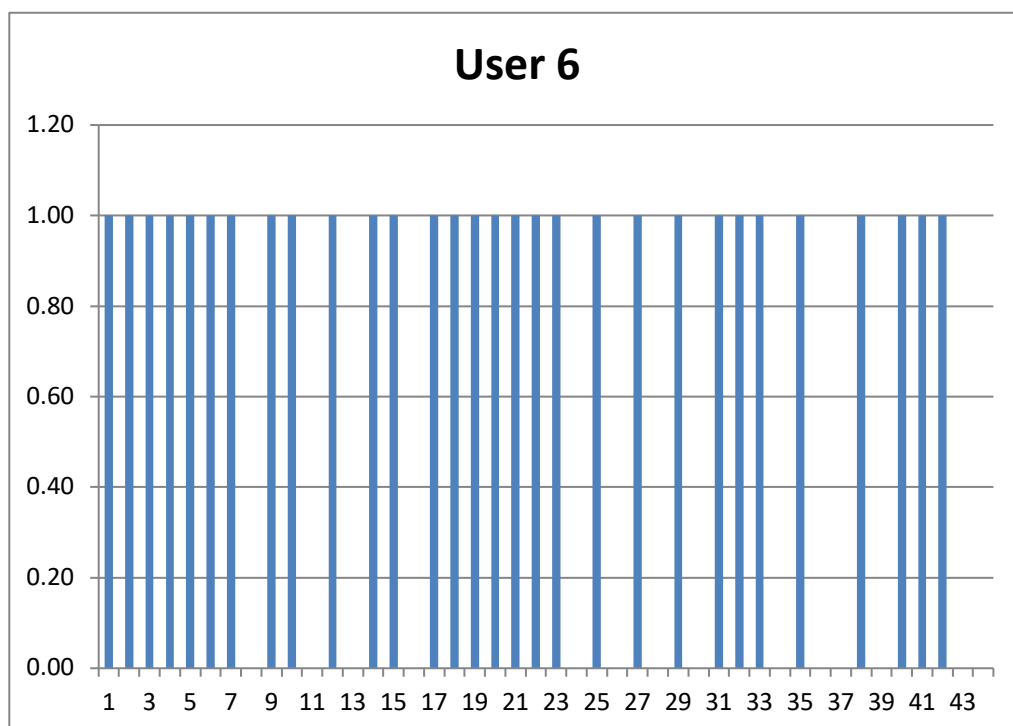


Рисунок 4.34 – Час прийняття рішень шостим користувачем

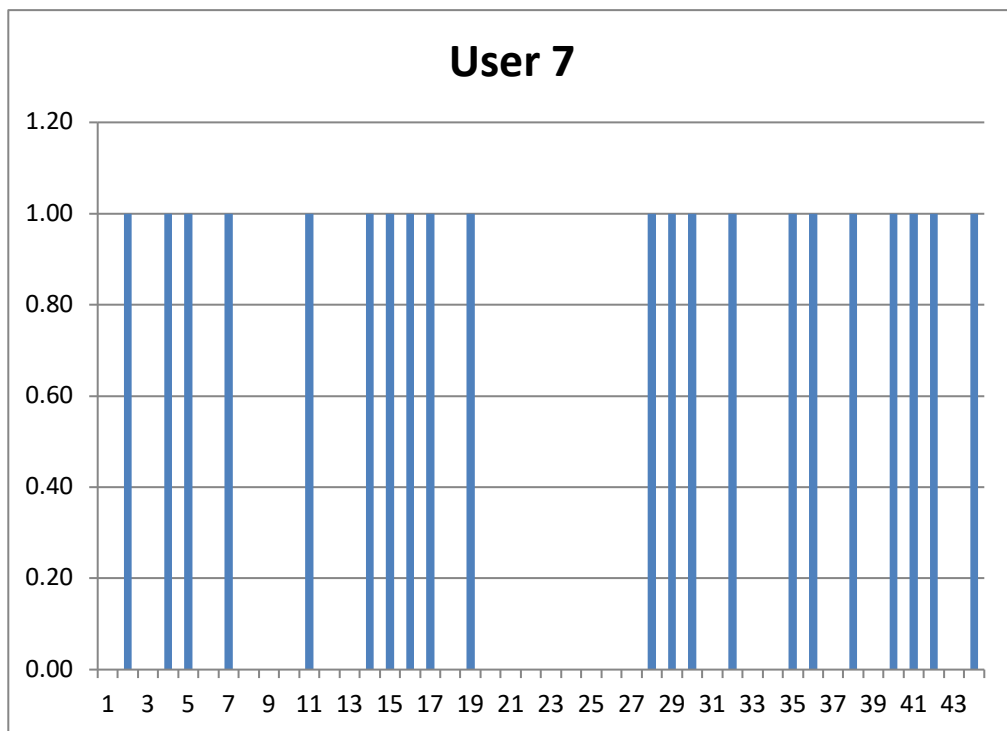


Рисунок 4.35 – Час прийняття рішень сьомим користувачем

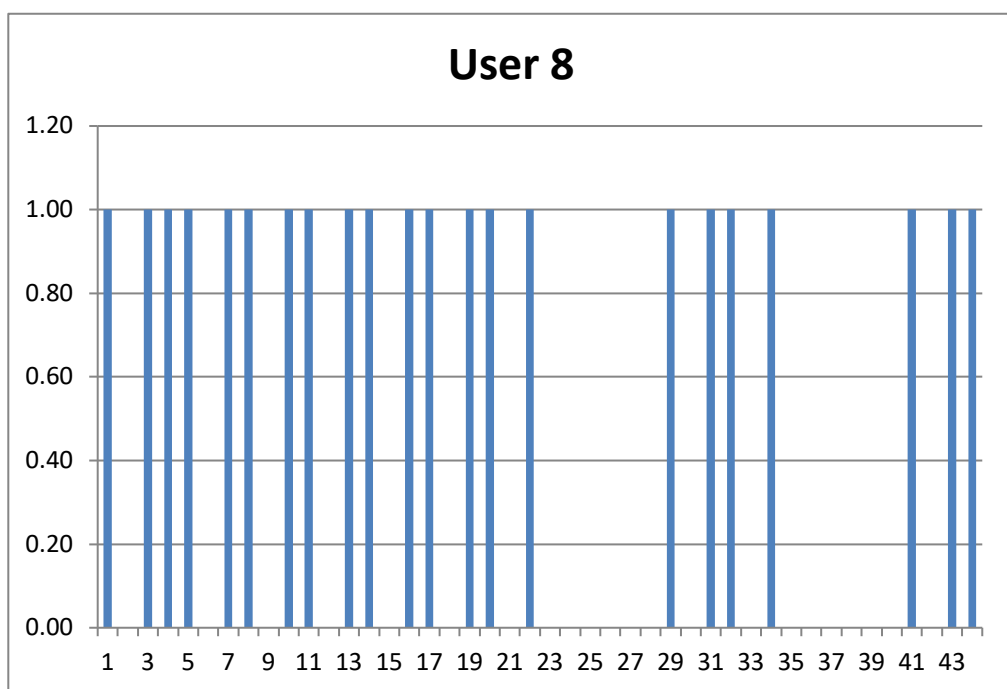


Рисунок 4.36 – Час прийняття рішень восьмим користувачем

Загальний час прийняття рішень кожним користувачем під час виконання

тестового завдання (у мілісекундах) при використанні баєсових мереж (рис. 4.37):

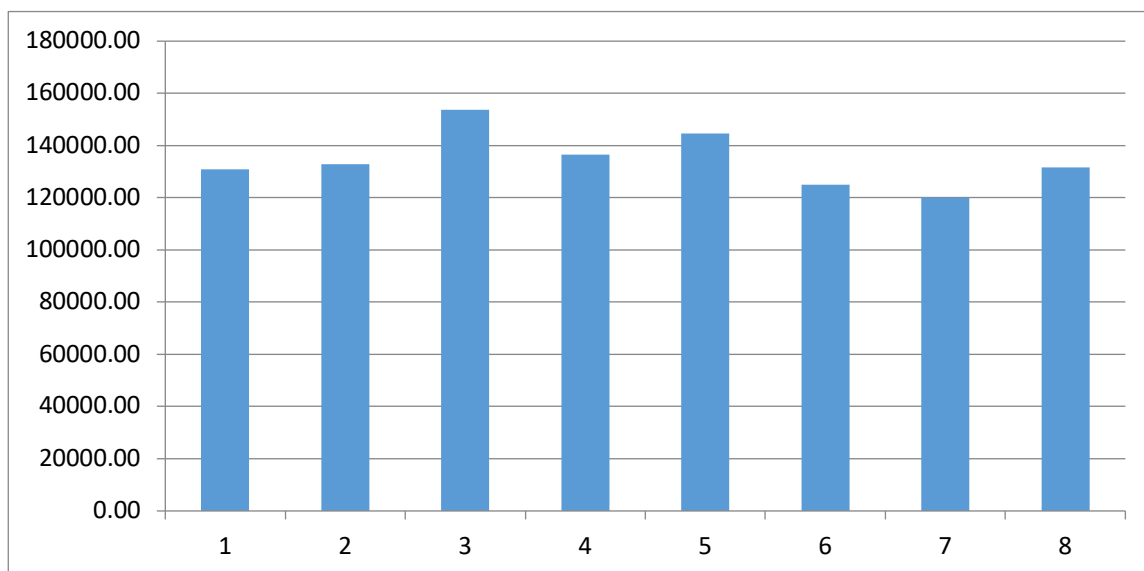


Рисунок 4.37 – Загальний час прийняття рішень кожним користувачем при використанні баєсових мереж

Загальна кількість правильних відповідей користувачів під час виконання тестового завдання при використанні баєсових мереж (рис. 4.38):

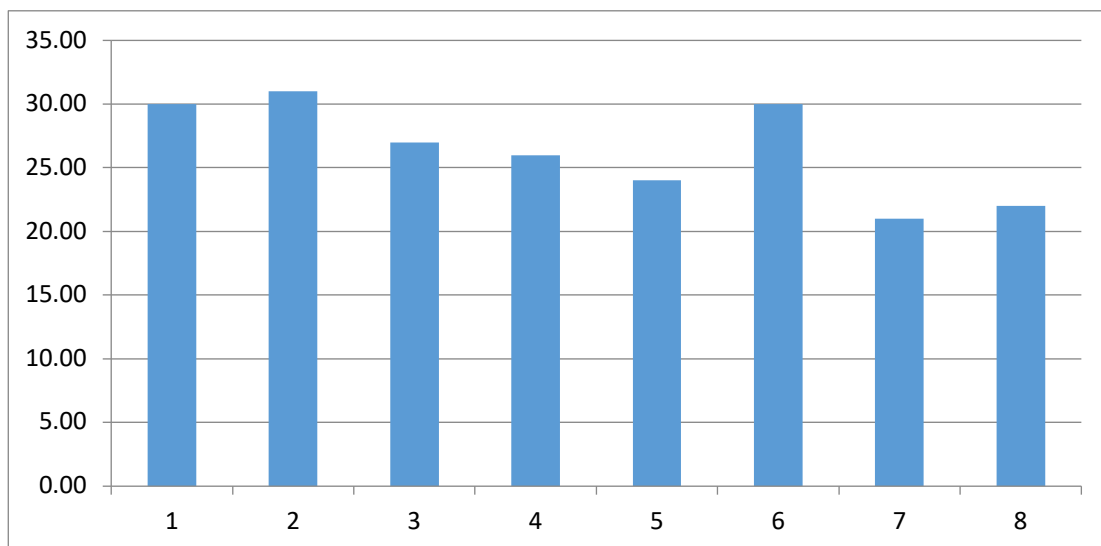


Рисунок 4.38 – Загальна кількість правильних відповідей користувачів при використанні баєсових мереж

Визначимо загальний час прийняття рішень системою на кожному етапі вибору альтернатив при використанні баєсових мереж (рис. 4.39):

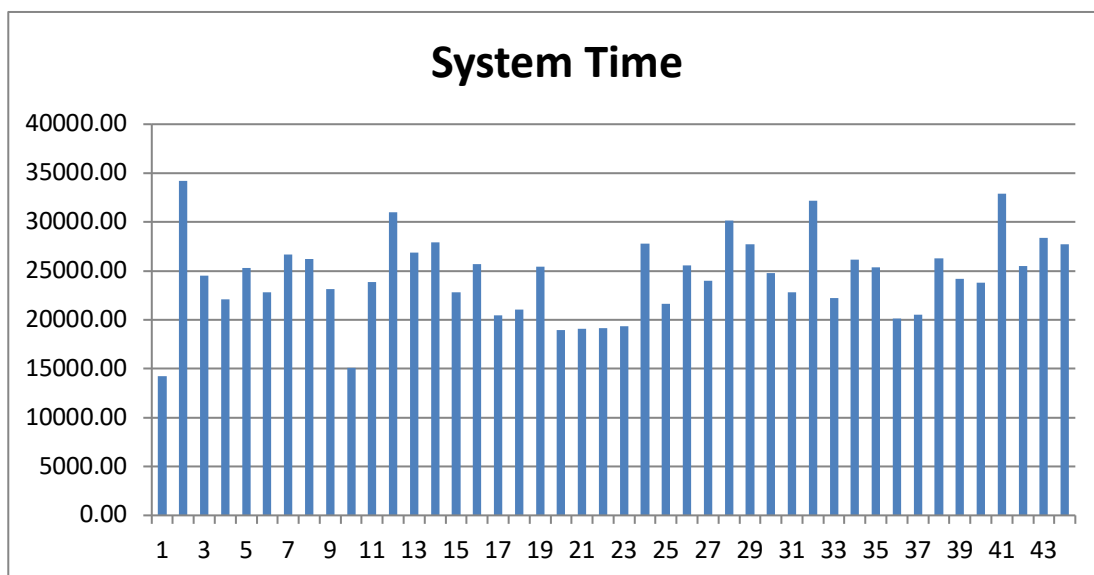


Рисунок 4.39 – Загальний час прийняття рішень системою на кожному етапі вибору альтернатив при використанні баєсових мереж

Рішення системи на кожному етапі прийняття рішень користувачами при використанні баєсових мереж в залежності від кількості користувачів, що прийняли правильне рішення (1 – рішення прийнято) (рис. 4.40):

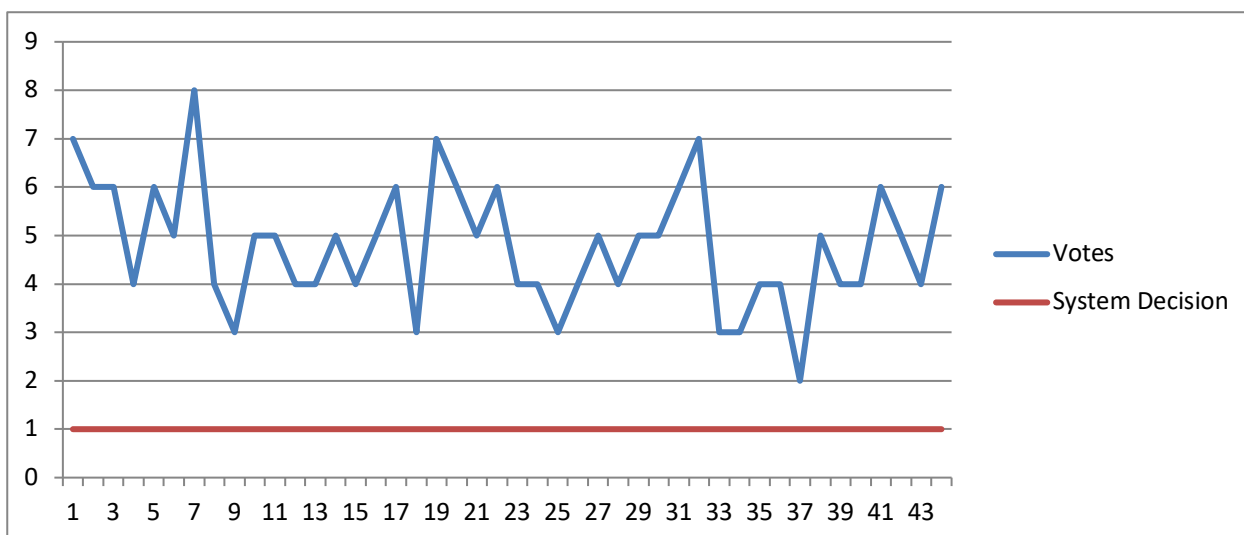


Рисунок 4.40 – Графік залежності прийняття рішень системою від правильності рішення користувачів при використанні баєсових мереж

У результаті проведених тестових досліджень також виявлено, що використання баєсових мереж для підтримки групового вибору у розподіленій системі підтримки прийняття групових рішень також дозволяє значно підвищити ефективність прийняття рішень. Рішення приймається системою у 100% вибору альтернатив, уникаючи конфліктних ситуацій, що виникають під час використання режиму за методом більшості. Зокрема, вдалося встановити, що при використанні режиму більшості системою прийнято лише 12 рішень з 43, тобто виникла 31 конфліктна ситуація і користувачі повинні були повторювати один і той самий крок до появи більшості. При використанні режиму баєсової мережі жодної конфліктної ситуації не виникло і рішення прийнято 43 рази із 43. Тобто режим більшості є ефективним лише для 28% рішень, а використання баєсової мережі дозволяє підвищити ефективність прийняття рішень у розподілених системах на 72% (рис. 4.41, де 1 – рішення прийнято, 0 – рішення не прийнято).

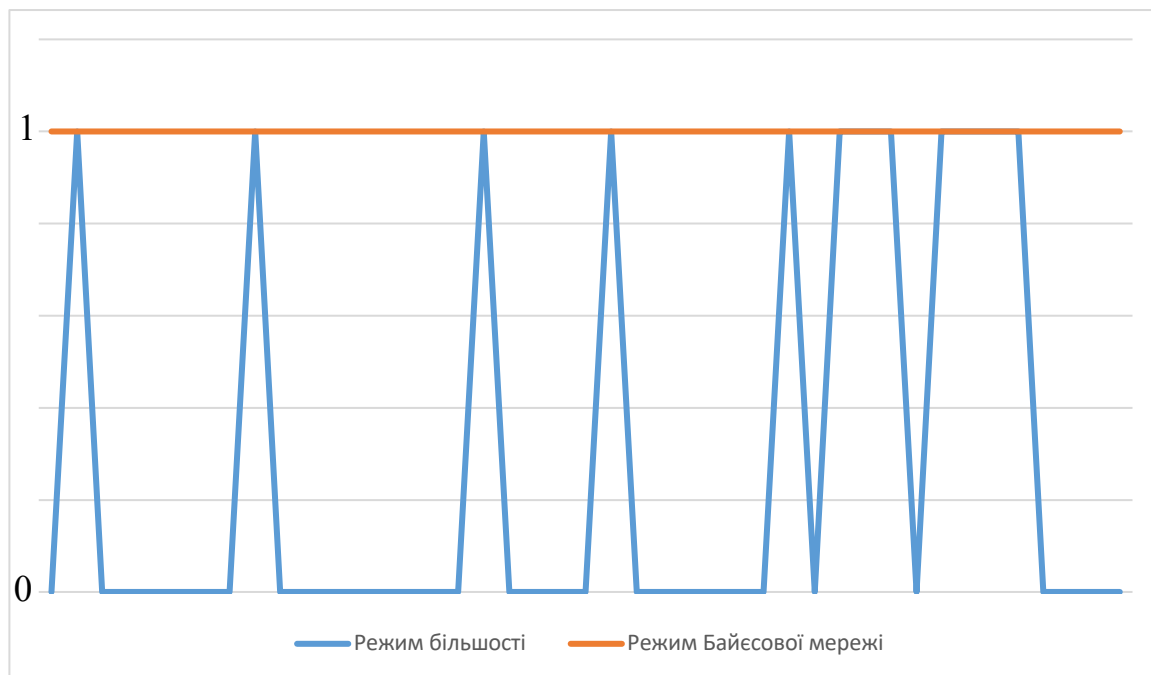


Рисунок 4.41 – Порівняльний графік прийняття або неприйняття рішень системою при використанні режиму за принципом більшості та з використанням баєсової мережі

Розроблена інформаційна технологія впроваджена у компанії “Спільна справа” для підтримки прийняття групових рішень при розробці проектів управління контекстною рекламою у соціальних мережах Kenshoo та розробці комплексних відео проектів для залучення роздрібних клієнтів Molengo.

Розроблена інформаційна технологія також використовувалась у навчальному процесі на кафедрі автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій Вінницького національного технічного університету під час проведення лекцій, практичних занять та лабораторних робіт з дисципліни: “Інтелектуальні інформаційні технології” та “Теорія прийняття рішень”. Програмні компоненти розробленої інформаційної технології також використовувались для розробки системи автоматизованого ведення документообігу рад вищих навчальних закладів та формування індивідуальних планів магістрантів [130]-[132].

4.6 Порівняльний аналіз розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень на основі розробленої інформаційної технології

Для підтвердження ефективності розробленої розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень, що базується на баєсовій мережі також проведено порівняльний аналіз системи з існуючими системами підтримки прийняття групових рішень.

Більшість систем підтримки прийняття групових рішень, використовує лише декілька методів прийняття рішень і одним із методів, що найчастіше використовується у таких системах є принцип більшості або його різноманітні модифікації. Розглянемо типи таких систем детальніше: системи голосування або виборчі системи, за якими обраним вважають кандидата, що одержав у виборчому окрузі встановлену більшість голосів порівняно з іншими кандидатами [133]-[135], експертні системи, у яких рішення може бути ухвалене лише на основі

узгоджених думок більшості експертів та які виключають з експертної групи осіб, чия думка відрізняється від думки більшості [135], [136], управлінські системи, в яких приймаються рішення, обрані більшістю керівного складу [137], [138], фінансові системи, в яких рішення про банкрутство приймаються більшістю голосів кредиторів з урахуванням належних їм вимог [139] та інші. На сьогоднішній день існують сотні систем підтримки прийняття групових рішень, які у певний спосіб використовують принцип більшості. Однією з відомих систем, робота над якою почалася ще у 1980-х роках корпорацією “Ventana” є система GroupSystems. GroupSystems використовувалася такими відомими компаніями як IBM, Marriot Corporation та навіть армією США. Система реалізує три основні елементи групової взаємодії: електронні наради, засоби обслуговування нарад та набір інструментальних засобів для їх організації. Одним із інструментальних засобів для оцінки суперечливих альтернатив вибору та пріоритетності ідей системи є голосування, яке дозволяє прийняти загальне рішення для групи користувачів та досягти згоди. Результати прийнятих користувачами рішень виводяться на монітор у графічному вигляді та дозволяють виявити переваги більшості користувачів системи [140], [141]. Ще одним прикладом системи підтримки прийняття групових рішень є Prism’s Group Decision Support System, яка дозволяє групі користувачів знаходити складні компроміси та приймати комплексні рішення за допомогою використання різноманітних методів прийняття рішень, а також модифікацій принципу більшості. Система забезпечує погодження користувачів при визначенні множини можливих альтернатив та допомагає користувачам у визначенні ваги кожної критерії для матриці рішень, використовуючи аналіз попарного порівняння. Матриця рішень може бути доповнена кошторисом витрат та є особливо корисною коли група користувачів мусить дійти згоди при прийнятті особливо важливих рішень [142]. Зі збільшення кількості осіб задіяних у процесі прийняття групових рішень, такі системи зазвичай сповільнюються, оскільки робота системи потребує все більших

обчислювальних ресурсів, особливо помітно це стає, якщо користувачі системи територіально розподілені і з'являється затримка у часі при прийнятті рішень. Для аналізу та порівняння переваг розробленої інформаційної технології у розподіленій системі на основі баєсової мережі та існуючих систем на основі принципу більшості, реалізовано режим роботи такої системи за принципом більшості. Розглянемо результати експериментальних досліджень детальніше.

Експериментальне дослідження розробленої розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень дозволило підтвердити ефективність системи під час з'єднання для спільної роботи користувачів-студентів, що знаходилися у різних учбових аудиторіях університету. Затримка у часі під час вибору альтернатив була мінімальною і не відволікала від загального процесу прийняття рішень користувачами-студентами. Під час дослідження розробленої системи, вдалося також встановити, що час прийняття рішень системою на кожному етапі вибору альтернатив при використанні баєсової мережі з 15-20 вершинами, у загальному випадку, є на 15% меншим, ніж при використанні режиму за принципом більшості (табл. 4.1 та рис. 4.42).

Таблиця 4.1 – Час на прийняття рішень системою на кожному етапі вибору альтернатив при використанні різних режимів

Час на прийняття рішень системою (режим більшості, мілісекунди)	Час на прийняття рішень системою (режим баєсової мережі, мілісекунди)
25150.4078	14228.2859
31631.9138	34222.3072
27377.4517	24535.3605
30510.7554	22113.6973
30779.2818	25295.8664
24626.2601	22828.8182

Продовження таблиці 4.1 – Час на прийняття рішень системою на кожному етапі вибору альтернатив при використанні різних режимів

33591.5552	26675.1556
22329.7059	26202.7793
Загальний час прийняття рішень системою	
225997.332	196102.27

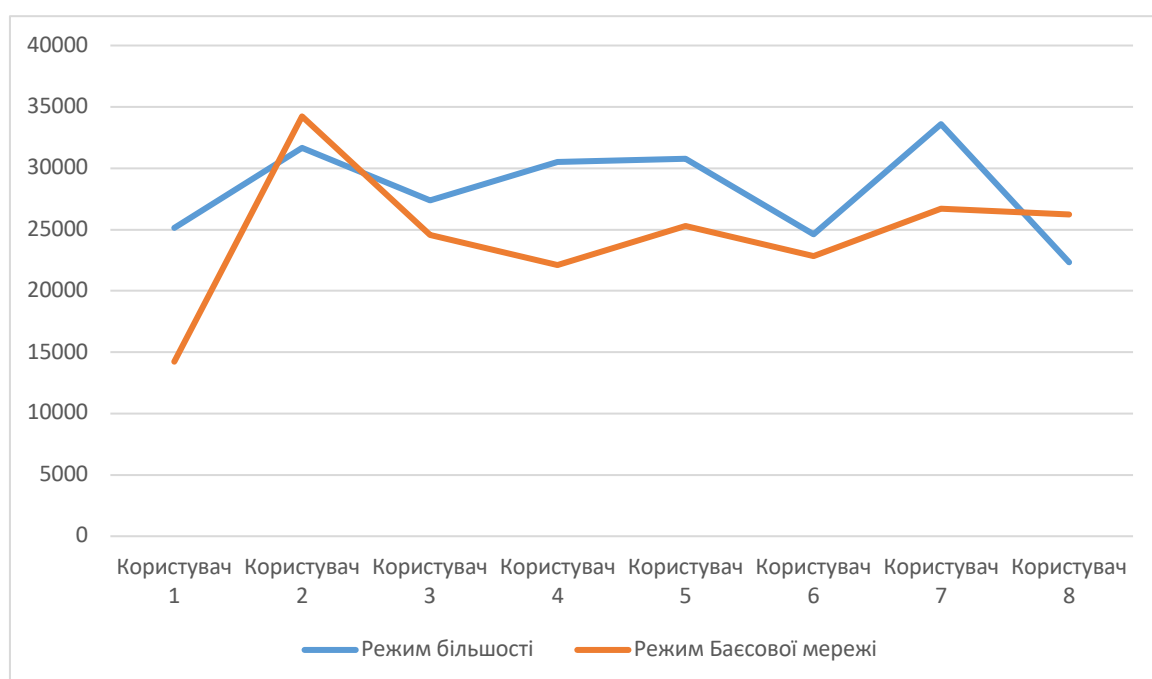


Рисунок 4.42 – Порівняльний графік часу прийняття рішень системою використанні режиму за принципом більшості та з використанням баєсової мережі

Розроблена інформаційна технологія на базі баєсової мережі, реалізована у розподіленій системі підтримки прийняття групових рішень, дозволяє не лише пришвидшити роботу системи у середньому на 15% порівняно з системами, що базуються на принципі більшості, а й ліквідувати конфліктні ситуації, що виникають у випадку коли більшість не сформована і користувачам потрібно

повторювати вибір однакових альтернатив до формування більшості.

Отже, ефективність розробленої розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень визначається часом на прийняття групових рішень, який вдалося скоротити на 15% за рахунок використання технологій на базі аналітичного апарату баєсових мереж, порівняно з системами, що мають за основу принцип більшості.

4.7 Висновки до розділу 4

Розроблено програмну реалізацію інформаційної технології підтримки прийняття групових рішень. Зокрема, розглянуто алгоритм роботи та реалізовано метод медіани Кемені для інтегрального оцінювання дій групового вибору, який дозволяє безпосередньо побудувати узагальнений вибір користувачів на основі вибору кожного окремого користувача.

Створено інтерфейсні елементи локальної системи підтримки прийняття групових рішень та описано послідовність дій при роботі з системою. Дані, отримані в результаті роботи системи можуть бути використані для проведення комплексного оцінювання кожного користувача особисто та усіх користувачів разом. Розроблена локальна система підтримки прийняття групових рішень програмно реалізована та отримано свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №25844 від 25.09.2008 р.

Розроблено та програмно реалізовано інтерфейсні елементи розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень. Розроблена розподілена система підтримки прийняття групових рішень базується на технології «клієнт-сервер» та використовує платформу Windows Communication Foundation (яка є частиною .NET Framework) для обміну даними між користувачами по мережі. Розроблена розподілена система підтримки прийняття групових рішень програмно реалізована та отримано свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір

№50446 від 26.07.2013 р.

Проведено експериментальне дослідження розробленої локальної системи підтримки прийняття групових рішень, яке дозволило сформувати графік залежностей кількості конфліктних ситуацій від часу виконання завдань. Результати дослідів показали, що використання методів прийняття групових рішень за принципом баєсової мережі дозволило підвищити ефективність розробленої локальної системи підтримки прийняття групових рішень за рахунок зменшення кількості конфліктних ситуацій.

Експериментальні дослідження розробленої технології на базі розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень та порівняльний аналіз такої системи з існуючими, довели, що час прийняття рішень системою на кожному етапі вибору альтернатив при використанні баєсової мережі у загальному випадку, є на 15% меншим, ніж при використанні режиму за принципом більшості, що доводить ефективність таких систем [111], [116], [119].

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз сучасних систем підтримки прийняття групових рішень та огляд методів прийняття рішень, що використовуються у таких системах. Розглянуто основні принципи групового вибору у системах підтримки прийняття рішень. Детально проаналізовано методи обчислення баєсових мереж. Окремо виділені точні та наближені методи, зазначені особливості їх використання, переваги та недоліки.

Проведено детальний аналіз методів кластеризації для обчислення баєсових мереж та наведені переваги їх використання для підтримки групового вибору у розподілених системах підтримки прийняття групових рішень. Результати аналізу дають змогу оцінити застосування баєсівського підходу для навчально-тестових систем підтримки прийняття групових рішень та перспективи розвитку методів обчислення баєсових мереж для підвищення ефективності роботи таких систем.

На підставі проведеного аналізу встановлено, що одним з найбільш ефективних інструментів, що використовуються для систем підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності є методи, що базуються на баєсових мережах. У зв'язку з цим баєсові мережі взяті за основу для розробки інформаційної моделі, методу та технології системи підтримки прийняття групових рішень.

2. Проведена ідентифікація та формалізація параметрів розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень. Розроблено комплексну інформаційну модель системи, яка враховує взаємозв'язок між параметрами системи та визначає їх взаємовплив. Визначено загальні принципи побудови баєсових мереж та перерахунку ймовірностей у баєсових мережах. Визначено основні принципи підтримки спільної роботи користувачів, що територіально розподілені.

Дослідження систем підтримки прийняття групових рішень з використанням розподілених технологій, що дозволяють з'єднувати користувачів у єдину мережу для виконання спільних дій, допомагає виявити особливості реалізації та функціонування таких систем, а також шляхи вирішення проблемних питань для отримання ефективних рішень.

3. Розроблено інформаційну технологію підтримки прийняття групових рішень. Визначено загальний метод та алгоритм роботи розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень. Визначено основні модулі підтримки взаємодії користувачів системи підтримки прийняття групових рішень.

Детально розглянуто режими роботи розподіленої системи, зокрема розглянуто метод більшості та формування альтернатив за допомогою баєсової мережі. Сформульовано основні програмні об'єкти забезпечення функціонування системи підтримки прийняття групових рішень.

4. Програмно реалізовано методи підтримки прийняття групових рішень. Зокрема, реалізовано метод медіани Кемені для інтегрального оцінювання дій користувачів під час групового вибору. Розроблено та програмно реалізовано інтерфейсні елементи локальної та розподіленої систем підтримки прийняття групових рішень.

Розроблене програмне забезпечення розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень дозволяє з'єднувати територіально розподілених користувачів за допомогою використання архітектури «клієнт-сервер», що забезпечує об'єднання користувачів у систему. Використана інформаційна технологія Windows Communication Foundation в свою чергу забезпечує підтримку обміну даними між користувачами системи. Проведено експериментальні дослідження розроблених технологій на базі локальної та розподіленої систем підтримки прийняття групових рішень. Проведено тестову перевірку ефективності розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень та доведено, що час прийняття рішень системою на кожному етапі вибору

альтернатив при використанні басової мережі у загальному випадку, є на 15% меншим, ніж при використанні режиму за принципом більшості, що сприятиме широкому використанню таких систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] E. Turban, *Decision support and expert systems: management support systems*. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice Hall, 1995.
- [2] I. Little, “Models and managers: The concept of a decision calculus”, *Management science*, V16, №8, pp. 466–485, 1970.
- [3] А. М. Петух, Є. В. Кузьмін, В. В. Войтко та Д. І. Кательніков, *Моделювання локальних людино-машинних систем колективної взаємодії*. Монографія, Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2007.
- [4] В. Симанков и Е. Тарасов, “Подходы к автоматизации процедур получения и обработки экспертных знаний на основе моделей интеллектуального анализа данных”, *Научный журнал КубГАУ*, №84 (10), с. 975-986, 2012.
- [5] С. Дружченко, *Эффективное принятие решений*. Альпина Бизнес Букс, 2006.
- [6] О. И. Ларичев, *Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных странах*. Логос, 2002.
- [7] И. Г. Черноруцкий, *Методы принятия решений*. Петербург, 2005.
- [8] С. Л. Блюмин, и И. А. Шуйкова, *Модели и методы принятия решений в условиях неопределенности*. Липецк: ЛЭГП, 2001.
- [9] С. Крюков, “Байесовы сети как инструмент моделирования неопределенности при принятии инвестиционных решений”, *Экономический вестник Ростовского государственного университета*. Том 5, №1, с. 106–111, 2007.
- [10] В. В. Круглов, М. И. Дли и Р. Ю. Голунов, *Нечеткая логика и искусственные нейронные сети*. ФИЗМАТЛИТ, 2001.
- [11] W. Wiegerinck, B. Kappen, and W. Burgers, “Bayesian Networks for Expert Systems, Theory and Practical Applications”, *Interactive Collaborative Information Systems Studies in Computational Intelligence*. V281, pp. 547–578, 2010.

[12] M. Cohen, C. Kelly, and A. Medaglia, “Decision Support with Web-Enabled Software”, *Interfaces*, (31), pp. 109–129, 2001.

[13] D. Power, “Web-based and model-driven decision support systems: Concepts and issues”, *Americas Conference on Information Systems*, Long Beach, California, 2000, p. 4.

[14] D. Heckerman, D. Geiger, and D. M. Chickering, “The combination of knowledge and statistical data”, *Kluwer Academic Publishers, Learning Bayesian Networks*, p. 197–243, 1995.

[15] А. Б. Барский, *Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений*. Финансы и статистика, 2004.

[16] Н. И. Самойленко, А. И. Кузнецов, та А. Б. Костенко, *Теория вероятностей: Учебник*. НТМТ, ХНАГХ, 2009.

[17] А. И. Кибзун, Е. Р. Горяинова, А. В. Наумов, и А. Н. Сиротин, *Теория вероятностей и математическая статистика. Базовый курс с примерами и задачами. Учебное пособие*. ФИЗМАТЛИТ, 2002.

[18] Е. С. Вентцель, и Л. А. Овчаров, *Теория вероятностей и ее инженерные приложения. Учеб. пособие для втузов*. Высш. шк., 2000.

[19] А. И. Кобзарь, *Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников*. ФИЗМАТЛИТ, 2006.

[20] J. Cheng, and R. Greiner, *Comparing Bayesian Network Classifiers*. Morgan Kaufmann Publishers, 1999.

[21] N. Chater, et al., “Probabilistic models of cognition”, *Trends Cognitive Science*, 10, pp. 287–344, 2006.

[22] F. Jensen, *An introduction to Bayesian networks*. Aalborg, University Denmark, Springer, 1996.

[23] Д. Толпин, “Вероятностные сети для описания знаний. Обзор идей”, *Информационные процессы*, Том 7, №1, с. 93–103, 2007.

[24] V. Всероссийская научно-техническая конференция “Нейроинформатика – 2003” / Научная сессия МИФИ. Лекции по нейроинформатике. Часть 1, 2003.

[25] R. Zhang, and A. J. Bivens, “Comparing the use of Bayesian Networks and Neural Networks in response time modeling for service-oriented systems”, *Proceedings of the 2007 workshop on Service-oriented computing performance: aspects, issues and approaches*, ACM New York, 2007, pp. 67–74.

[26] I. Ben-Gal, *Bayesian networks. Encyclopedia of statistics in quality and reliability*. John Wiley & Sons, 2007.

[27] O. Mengoshoel, E. Reed, and A. Ishihara, “Adaptive Control of Bayesian Network Computation”, *Proc. 5th International Symposium on Resilient Control Systems (ISRCS)*, 2012, pp. 106–111.

[28] D. Chickering, D. Geiger, and D. Heckerman, “Learning Bayesian Networks: Search Methods and Experimental Results”, *In proceedings of the Fifth International Workshop on Artificial Intelligence and Statistics*, 1995, pp. 112–128.

[29] J. Kruschke, “Bayesian data analysis”, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 1(5), pp. 658–676, 2010.

[30] B. P. Carlin, and T. A. Louis, *Bayesian Methods for Data Analysis*. CRC Press, 2008.

[31] H. Borchani, N. B. Amor, and K. Mellouli, “Learning Bayesian Network Equivalence Classes from Incomplete Data”, *Discovery Science, Lecture Notes in Computer Science*, V4265, pp. 291–295, 2006.

[32] W. Premchaiswadi, N. Jongsawat, and W. Romsaiyud, “Bayesian network inference with Qualitative expert knowledge for group decision making”, *5th IEEE International Conference 7-9 July 2010, Intelligent Systems (IS)*, London, 2010, pp. 126-131.

[33] А. Петух, В. Войтко, Є. Кузьмін, та Н. Кузьміна, “Принципи реалізації групового вибору в інтерактивних системах колективної взаємодії”, *Нові*

технології. Науковий вісник Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління, №1 (19), с. 160–166, 2008.

[34] Р. Л. Кини, и Х. Райфа, *Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения*. Радио и связь, 1981.

[35] Э. Мулен, *Кооперативное принятие решений: аксиомы и модели*. Мир, 1991.

[36] С. Д. Бешелев, и Ф. Г. Гурвич, *Математико-статистические методы экспертных оценок*. Статистика, 1980.

[37] О. И. Ларичев, *Принятие решений как научное направление. Методологические проблемы*. Системные исследования, Наука, 1982.

[38] М. Интрилигатор, *Математические методы оптимизации и экономическая теория*. Прогресс, 1975.

[39] В. Ногин, “Логическое обоснование принципа Эджворта-Парето”, *Вычислительная математика и математическая физика*, Ч2, № 7, с. 951–957, 2002.

[40] V. Noghin, “What is the relative importance of criteria and how to use it in MCDM”, *Lect. Notes in Economics and mathematical systems*, V507, pp. 59–68, 2001.

[41] В. В. Подиновский, и В. Д. Ногин, *Парето-оптимальные решения многокритериальных задач*. Наука, 1982.

[42] Р. Штойер, *Многокритериальная оптимизация. Теория, расчет и приложения*. Радио и связь, 1992.

[43] K. Vanhoof, D. Ruan, L. Li, and G. Geert Wets (eds.), *Proceedings of the 4th International ISKE Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering – Hasselt, Belgium, 27–28 November 2009*. World Scientific Publishing, 2009.

[44] F. D. Van Schaik, *Effectiveness of decision support systems*. Delft University Press, 1988.

[45] M. Montes de Oca, T. Stutzle, M. Birattari, and M. Dorigo, “Incremental Social Learning Applied to a Decentralized Decision Making Mechanism: Collective

Learning Made Faster”, *Fourth IEEE International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems*, 2010, pp. 243–252.

[46] K. Kraemer, and J. King, “Computer-based systems for cooperative work and group decision making”, *Journal ACM Computing Surveys (CSUR)*, V20 (2), pp. 115–146, 1988.

[47] Ю. Верес, О. Верес, та А. Катренко, “СППР з керування розподілом обмежених ресурсів”, *Вісник Національного університету “Львівська політехніка”*, Інформаційні системи та мережі, с. 52–62, 2008.

[48] S. Boroushaki, and J. Malczewski, “Using the fuzzy majority approach for GIS-based multicriteria group decision-making”, *Computers and Geosciences*, V36, pp. 302–312, 2010

[49] А. Петровский, “Групповое многокритериальное принятие решений с несовпадающими предпочтениями”, *Научные ведомости Белгородского государственного университета*, Том 15, №12–1, с. 151–160, 2009.

[50] В. В. Подиновский, *Введение в теорию важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений*. Физматлит, 2007.

[51] В. Матвеев, “Уточнение оптимального решения в многокритериальной задаче”, *Вестник Псковского государственного университета. Серия: Естественные и физико-математические науки*, №4, с. 101–107, 2008.

[52] И. М. Макаров, Т. М. Виноградская, А. А. Рубчинский, и В. Б. Соколов *Теория выбора и принятия решений*. Наука, 1982.

[53] M. Indiramma, and Dr. K. R. Anandakumar, “Collaborative Decision-Making in Multi-agent systems for GIS Application”, *Proceedings of the International Multiconference of Engineers and Computer Scientists (Hong Kong) IMECS 2008*, V1, 2008, pp. 40–43.

[54] J. F. Cragan, and D. W. Wright, *Communication in small groups: Theory, process, skills*. Belmont (Cal.) etc.: Intern. Thomson publ., 1999.

[55] А. Козлов, Е. Левина, “Комплексная методика принятия групповых

решений и распределения ролей в группе”, *Ценности и смыслы*, №2 (18), с. 99–109, 2012.

[56] А. Б. Петровский, *Теория принятия решений*. Академия, 2009.

[57] Д. Канеман, П. Словик, и А. Тверски, *Принятие решений в неопределенности: Правила и предубеждения*. Гуманитарный Центр, 2005.

[58] Л. В. Найханова, и С. В. Дамбаева, *Методы и алгоритмы принятия решений в управлении учебным процессом в условиях неопределенности. Монография*. Издательство ВСГТУ, 2004.

[59] K. Eliaz, D. Ray, and R. Razin, “Group decision-making in the shadow of disagreement”, *Elsevier: Journal of Economic Theory*, pp. 236–273, 2007.

[60] R. E. Neapolitan, *Learning Bayesian Networks*. Prentice Hall, 2003.

[61] B. F. Anderson, *The three secrets of wise decision making*. Portland, Oregon: Single Reef Press, 2002.

[62] N. Zhang, “Probabilistic inference in influence diagrams”, *Computational Intelligence*, V4, №14, pp. 475–497, 1998.

[63] H. Guo, and W. Hsu, “A survey of algorithms for real-time Bayesian network inference”, *In the joint AAAI-02/KDD-02/UAI-02 workshop*, Canada, 2002, pp. 1–12.

[64] A. Madsen, and F. Jensen, “Lazy propagation in junction trees”, *In proc. 14th conference on uncertainty in artificial intelligence*, USA, 1998, pp. 362–369.

[65] А. Петух, В. Войтко, Є. Кузьмін, і Н. Кузьміна, “Автоматизована система підтримки групових рішень”, *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, №1, с. 76–79, 2009.

[66] D. Koller, D. McAllester, and A. Pfeffer, “Effective Bayesian Inference for stochastic Programs”, *In Proceedings of the Fourteenth National Conference on AI (AAAI-97)*, 1997, pp. 740–747.

[67] *Proceedings of the 17th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence, August 02-05, 2001*. San Francisco, CA, USA, Morgan Kaufmann Publishers Inc, 2001.

[68] Е. Масленников, и В. Сулимов, “Предсказания на основе Байесовских сетей доверия: алгоритм и программная реализация”, *Вычислительные методы и программирование*, Т.11, с. 94–107, 2010.

[69] D. Chickering, D. Heckerman, and C. Meek “Large-Sample Learning of Bayesian Networks is NP-Hard”, *Journal of Machine Learning Research*, №5, pp. 1287–1330, 2004.

[70] J. Tenenbaum, T. Griffiths, and C. Kemp, “Theory-based Bayesian models of inductive learning and reasoning”, *Trends in Cognitive Sciences*, V10 (7), pp. 309–318, 2006.

[71] A. Madsen, and F. Jensen, “Parallelization of inference in Bayesian networks”, *Research report R-99-5002*, Denmark, pp. 1–38, 1999.

[72] П. Бидюк, и А. Терентьев, “Построение и методы обучения Байесовских сетей”, *Таврический вестник информатики и математики*, №2, с. 139–154, 2004.

[73] M. I. Jordan, *Learning in graphical models*. Springer, 1998.

[74] Y. Adrian, and C. B. Cheuk, “Structured arc reversal and simulation of dynamic probabilistic networks”, *Proceedings of the 13th annual conference on uncertainty in artificial intelligence*, USA, 1997, pp. 72–79.

[75] J. Larrosa, E. Morancho, and D. Niso, “On the practical use of variable elimination in constraint optimization problems”, “*Still-life*” as a Case Study”, №23, pp. 421–440, 2005.

[76] E. Castillo, J. M. Gutierrez, and A. S. Hadi, “A new method for efficient symbolic propagation in discrete Bayesian networks”, *Networks*, №28, с. 31–43, 1996.

[77] A. Darwiche, “A differential approach to inference in Bayesian networks” *Journal of the ACM*, V3, №50, pp. 123–132, 2003.

[78] Y. Lin, and M. Druzdzel, “Stochastic sampling and search in belief updating algorithms for very large Bayesian networks”, *In working notes of the AAAI Spring Symposium on search techniques for problem solving under uncertainty and incomplete*

information, USA, 1999, pp. 77–82.

[79] R. Daly, Q. Shen, and S. Aitken, “Leaning Bayesian networks: approaches and issues”, *The knowledge engineering review*, V2, №26, pp. 99–157, 2011.

[80] K. Murphy, Y. Weiss, and M. Jordan, “Loopy belief propagation for approximate inference: an empirical study”, *In proceedings of uncertainty in AI 1999*, USA, 1999, pp. 467–475.

[81] Н. Кузьміна, та А. Петух, “Огляд методів обчислення Байєсових мереж”, *Вісник Сумського державного університету, Серія Технічні науки*, №1, с. 112-117, 2012.

[82] А. Л. Тулупьев, С. И. Николенко, и А. В. Сироткин, *Байесовские сети: Логико–вероятностный подход*. Наука, 2006.

[83] J. O. Berger, *Statistical Decision Theory and Bayesian Analysis. Second Edition*. Springer Series in Statistics, 1993.

[84] О. Жуковская, и Л. Файнзильберг, “Байесова стратегия принятия коллективных решений и ее интервальное обобщение”, *Проблемы управления и информатики*, №1, с. 100–112, 2019.

[85] Л. Файнзильберг, “Обучаемая система принятия коллективного решения группы независимых экспертов”, *Управляющие системы и машины*, №4, с. 62–57, 2003.

[86] F. Diez, and S. Galan, “Efficient computation for the noisy MAX”, *International Journal of Intelligent systems*, V18, Issue 2, pp. 165–177, 2003.

[87] N. Friedman, D. Geiger, and M. Goldszmidt, “Bayesian Network Classifiers”, *Kluwer Academic Publishers, Machine learning*, (29), pp. 131–163, 1997.

[88] N. Kuzmina, “The informational model of Bayesian networks clustering methods in group decision making support systems”, *Norwegian journal of development of the international science*, №39, Vol. 1, pp. 22-25, 2020.

[89] А. Петух, В. Войтко, Є. Кузьмін, та Н. Кузьміна, “Модель процесу підтримки прийняття рішень з використанням Байєсових мереж”, *Наукові праці*

BHTY, №3, с. 1-7, 2009.

[90] J. Park, and A. Darwich, “A differential semantics for jointree”, *Artificial Intelligence*, V156, Issue 2, pp. 197–216, 2004.

[91] J. Park, and A. Darwiche, “Morphing the Hugin and Shenoy-Shafer architectures”, *In Proc. ECSQARU*, Springer, 2003, pp. 149–160.

[92] V. Lepar, and P. Shenoy, “A Comparison of Lauritzen-Spiegelhalter, Hugin, and Shenoy-Shafer Architectures for Computing Marginals of Probability Distributions”, *In Proceedings of the 14th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI-98)*, Morgan Kaufmann, 1998, pp. 328–337.

[93] A. Madsen, and F. Jensen, “Lazy propagation in junction trees”, *In Proc. 14th Conf. on Uncertainty in Artificial Intelligence*, Morgan Kaufmann Publishers, 1998, pp. 362–369.

[94] Н. Кузьміна, “Коригування ймовірностей Байєсової мережі методами зв’язного дерева”, *Матеріали науково-технічної конференції “Інформатика, математика, автоматика – 2020”*, Суми, 2020, с. 56-57.

[95] А. Петух, В. Войтко, Є. Кузьмін, Н. Кополовець, та С. Бевз, “Моделі режимів групового вибору користувачів в інтерактивній системі колективної взаємодії”, *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, Вінниця: УНІВЕРСУМ, №1 (13), с. 80–86, 2007.

[96] А. Петух, В. Войтко, Д. Кательніков, та Н. Кополовець, “Інтерфейсні елементи системи колективного тестуючого навчання”, *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, №1, с. 98–106, 2007.

[97] А. Петух, В. Войтко, Є. Кузьмін, Н. Кополовець, та С. Бурбело, “Методи групового вибору в інтерактивних системах колективної взаємодії”, *Збірник матеріалів міжвузівської науково-практичної конференції “Прогресивні інформаційні технології в науці та освіті”*, Вінниця, 2007, с. 188–195.

[98] Р. Асратян, А. Козлов, В. Лебедев, и И. Мараканов, “Распределенная

интегрированная информационная система поддержки принятия решений”, *Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, Москва, Проблемы управления*, с. 14–20, 2004.

[99] Э. Таненбаум, и М. Ван Стен, *Распределенные системы. Принципы и парадигмы*. Питер, 2003.

[100] А. В. Петров, *Моделирование систем. Учебное пособие*. Иркутск: Издательство Иркутского государственного технического университета, 2000.

[101] G. Kraetzschmar, *Distributed reason maintenance for multiagent systems. Lecture notes in Computer Science, VI229*. Lecture notes in artificial intelligence, Springer, 1997.

[102] J. A. Lozano, P. Larranaga, I. Inza, and E. Bengoetxea, “Towards a new evolutionary computation: advances on estimation of distribution algorithms”, *Studies in fuzziness and soft computing*, №192(XV), с. 294, 2006.

[103] В. М. Дубовой, Р. Н. Кветний, О. І. Михальов, та А. В. Усов, *Моделювання та оптимізація систем. Підручник*. Вінниця, ВНТУ: Едельвейс, 2017.

[104] А. И. Башмаков, и И. А. Башмаков, *Интеллектуальные информационные технологии. Учебное пособие*. Из-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005.

[105] A. Gruber, and I. Ben-Gal, “Efficient Bayesian Network Learning for System Optimization in Reliability Engineering”, *Quality Technology and Quantitative Management*, V9 (No. 1), pp. 97–114, 2012.

[106] J. Torres-Toledano, and L. E. Sucar, “Bayesian Networks for reliability analysis of complex systems”, *Progress in Artificial, Lecture Notes in Computer Science*, V1484, pp. 195–206, 1998.

[107] T. A. Stephenson, *An introduction to Bayesian Network. Theory and Usage*. IDIAP Research Report, 2020.

[108] Л. Звягин, “Применение байесовского подхода в измерениях аналитических данных как фактор формирования процессов системного экономического развития”, *Молодой ученый*, №22, с. 256-261, 2017.

[109] М. Хлопотов, “Применение байесовской сети при построении моделей обучающихся для оценки уровня сформированности компетенций”, *Интернет-журнал “НАУКОВЕДЕНИЕ”*, Выпуск 5 (24), с. 28, 2014.

[110] N. D. Goodman, J. Tenenbaum, T. L. Griffiths, and J. Feldman, *Compositionality in rational analysis: Grammar based induction for concept learning. The probabilistic mind: Prospects for rational models of cognition*. Oxford University Press, 2007.

[111] S. J. Russell, and P. Norvig, *Artificial Intelligence. A Modern Approach*. Prentice-Hall Inc., 1995.

[112] А. Петух, Н. Кузьміна, Є. Кузьмін, та В. Войтко, “Методи прийняття рішень і прогнозування подій в інтерактивних системах”, *Збірник матеріалів третьої науково-практичної конференції “Матеріали електронної техніки та сучасні інформаційні технології (МЕТІТ-3)”*, Кременчук, 2008, с. 228.

[113] А. Петух, В. Войтко, Є. Кузьмін, та Н. Кузьміна, “Модель системи підтримки прийняття групових рішень”, *Збірник матеріалів шостої міжнародної конференції ІОН – 2008*, Вінниця: УНІВЕРСУМ, Том 2, 2008, с. 514–517.

[114] Н. М. Кіяновська, Н. В. Рашевська, та С. О. Семеріков, *Теоретико-методичні засади використання інформаційно-комунікаційних технологій у навчанні вищої математики студентів інженерних спеціальностей у США. Монографія. Теорія та методика електронного навчання*, Кривий Ріг, №1(5), 2014.

[115] Р. Брайант, и Д. О’Халларан / Пер. Д. Ежов, и С. Шестаков, *Компьютерные системы: архитектура и программирование. Взгляд программиста*. БХВ – Петербург, 2005.

[116] Н. Ф. Кузьміна, та Є. В. Кузьмін, “Розподілена система підтримки прийняття групових рішень”, *Свідectво про реєстрацію авторського права на*

твір №50446, Лип. 26 2013.

[117] В. Ключко, Е. Шумков, А. Власенко, и Р. Карнизьян, “Архитектура систем поддержки принятия решений”, *Научный журнал КубГАУ*, №86(02), с. 10, 2013.

[118] P. Wohlstetter, A. Datnow, and V. Park, “Creating a system for data-driven decision making: applying the principal-agent framework”, *School Effectiveness and School Improvement*, V19 (3), pp. 239–259, 2008.

[119] Н. Кузьміна, “Аналіз основних характеристик розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень”, *Сборник научных трудов SWorld*, МАРКОВА АД, Выпуск 3, Том 6, с. 84–87, 2013.

[120] Р. Кветний, та Н. Кузьміна, “Розподілена система підтримки прийняття групових рішень”, *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, Вінниця, №1, с. 4-14, 2020.

[121] Р. Кветний, та Н. Ф. Кузьміна, “The main principles of the distributed group decision support system”, *Збірник матеріалів дванадцятої міжнародної конференції ІОН – 2020*, УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2020. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://ies.vntu.edu.ua/reports/program/PROGRAM-IES-20200525.pdf>. Дата звернення: Трав. 26, 2020.

[122] Н. Кузьміна, “Алгоритмічна реалізація розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень”, *Збірник матеріалів XLIX науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів Вінницького національного технічного університету*, Вінниця, 2020. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2020/paper/view/8693>. Дата звернення: Трав. 7, 2020.

[123] С. С. Лавров, *Программирование. Математические основы, средства, теория*. СПб.: БХВ-Петербург, 2001.

[124] Є. В. Кузьмін, та Н. Ф. Кузьміна, “Комп'ютерна програма підтримки прийняття групових рішень на основі Байєсової мережі”, *Свідомство про*

реєстрацію авторського права на твір №25844, Верес. 25, 2008.

[125] З. Ю. Юлдашев, и Ш. И. Бобохужаев, *Инновационные методы обучения: Особенности кейс-стади метода обучения и пути его практического использования*. Ташкент, «IQTISOD-MOLIYA», 2006.

[126] В. А. Успенский, и А. Л. Семенов, *Теория алгоритмов: Основные открытия и приложения*. Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987.

[127] Н. Ф. Кузьміна, та Є. В. Кузьмін, “Комп’ютерна програма групового прийняття рішень щодо виконання послідовності дій з використанням принципу медіани Кемені в системах колективної взаємодії”, *Свідомство про реєстрацію авторського права на твір №23007*, від Груд. 3, 2007.

[128] Д. Рихтер, *Программирование на платформе Microsoft .NET Framework 4.0 на языке C#*. Питер, 2011.

[129] Т. Нортрап, Ш. Вилдермьюс, и Б. Райан, *Основы разработки приложений на платформе Microsoft .NET Framework*. Учебный курс Microsoft. Питер, 2007.

[130] В. Мокін, С. Бурбело, С. Бевз, В. Войтко, та Н. Кузьміна, “Система автоматизованого ведення документообігу рад вищих навчальних закладів”, *Наукові праці ВНТУ*, №3, 2008. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/4366>. Дата звернення: Трав. 7, 2020.

[131] С. Юхимчук, С. Бурбело, С. Бевз, Н. Кузьміна, та С. В. Хрущак “Формування індивідуальних планів магістрантів засобами автоматизованої системи документообігу”, *Збірник тез доповідей третьої міжнародної науково-технічної конференції “ФОТОНІКА ОДС – 2008”*, УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008, с. 87–88.

[132] С. Юхимчук, С. Бурбело, С. Бевз, Н. Кузьміна, та С. Хрущак, “Комп’ютеризована система управління індивідуальними навчальними планами магістратури”, *Опτικο-електронні інформаційно-енергетичні технології*, №2 (16), с. 5–8, 2008.

[133] Ю. Р. Шведа, *Вибори та виборчі системи. Європейські стандарти та досвід для утвердження демократії в Україні*. Львів, 2010.

[134] В. Олексенко, “Оптимізація виборчої системи у контексті стабілізації політичної системи України”, *Вісник НТУУ “КПІ” Політологія. Соціологія. Право*, №3/4 (27/28), с. 28-31, 2009.

[135] О. І. Кушлик-Дивульська, та Б. Р. Кушлик, *Основи теорії прийняття рішень*. К., 2014.

[136] Н. Н. Китаев, *Групповые экспертные оценки*. Знание, 1975.

[137] В. Д. Еременко, Н. А. Ершова, и В. С. Остапенко, *Основы управления: Учебное пособие*. М.: РГУП, 2017.

[138] И. В. Марусева, *Современный менеджмент (Классический и прикладной аспекты): учебное пособие для вузов*. Берлин: Директ-Медиа, 2018.

[139] В. Ф. Попондопуло, *Банкротство. Научно-практическое пособие*. Издательство “Проспект”, 2014.

[140] В. Ф. Ситник, *Системи підтримки прийняття рішень: Навчальний посібник*. К.: КНЕУ, 2004.

[141] П. І. Бідюк, та Л. О. Коршевніюк, *Проектування комп'ютерних інформаційних систем підтримки прийняття рішень: Навчальний посібник*. Київ: ННК “ІПСА” НТУУ “КПІ”, 2010.

[142] Prism Decision Systems, 2020. [Online]. Available: <https://prismdecision.com/>. Accessed on: May 7, 2020.

ДОДАТКИ

Додаток А

Лістинг тестового програмного коду

```

#include "stdafx.h"
#include "testapp.h"
#define MAX_LOADSTRING 100
HINSTANCE hInst;
TCHAR szTitle[MAX_LOADSTRING];
TCHAR szWindowClass[MAX_LOADSTRING];
ATOM MyRegisterClass(HINSTANCE hInstance);
BOOL InitInstance(HINSTANCE, int);
LRESULT CALLBACK WndProc(HWND, UINT, WPARAM, LPARAM);
LRESULT CALLBACK About(HWND, UINT, WPARAM, LPARAM);
int APIENTRY _tWinMain(HINSTANCE hInstance,
    HINSTANCE hPrevInstance,
    LPTSTR lpCmdLine,
    int nCmdShow)
{
    MSG msg;
    HACCEL hAccelTable;
    LoadString(hInstance, IDS_APP_TITLE, szTitle, MAX_LOADSTRING);
    LoadString(hInstance, IDC_TESTAPP, szWindowClass,
MAX_LOADSTRING);
    MyRegisterClass(hInstance);
    if (!InitInstance (hInstance, nCmdShow))
    {
        return FALSE;
    }
    hAccelTable = LoadAccelerators(hInstance, (LPCTSTR)IDC_TESTAPP);
    while (GetMessage(&msg, NULL, 0, 0))
    {
        if (!TranslateAccelerator(msg.hwnd, hAccelTable, &msg))

```

```

        {    TranslateMessage(&msg);
            DispatchMessage(&msg); } }

    return (int) msg.wParam; }

ATOM MyRegisterClass(HINSTANCE hInstance)
{    WNDCLASSEX wcex;
    wcex.cbSize = sizeof(WNDCLASSEX);
    wcex.style          = CS_HREDRAW | CS_VREDRAW;
    wcex.lpfnWndProc    = (WNDPROC)WndProc;
    wcex.cbClsExtra     = 0;
    wcex.cbWndExtra     = 0;
    wcex.hInstance     = hInstance;
    wcex.hIcon          =                      LoadIcon(hInstance,
(LPCTSTR)IDI_TESTAPP);
    wcex.hCursor        = LoadCursor(NULL, IDC_ARROW);
    wcex.hbrBackground  = (HBRUSH)(COLOR_WINDOW+1);
    wcex.lpszMenuName   = (LPCTSTR)IDC_TESTAPP;
    wcex.lpszClassName  = szWindowClass;
    wcex.hIconSm        =                      LoadIcon(wcex.hInstance,
(LPCTSTR)IDI_SMALL);
    return RegisterClassEx(&wcex); }

BOOL InitInstance(HINSTANCE hInstance, int nCmdShow)
{    HWND hWnd;
    hInst = hInstance; // Store instance handle in our global variable
    hWnd =                      CreateWindow(szWindowClass,          szTitle,
WS_OVERLAPPEDWINDOW,
    CW_USEDEFAULT, 0, CW_USEDEFAULT, 0, NULL, NULL, hInstance,
    NULL);
    if (!hWnd)

```

```

    {    return FALSE; }
    ShowWindow(hWnd, nCmdShow);
    UpdateWindow(hWnd);
    return TRUE; }

LRESULT CALLBACK WndProc(HWND hWnd, UINT message, WPARAM
wParam, LPARAM lParam)
{
    int wmId, wmEvent;
    PAINTSTRUCT ps;
    HDC hdc;
    switch (message)
    {
        case WM_COMMAND:
            wmId  = LOWORD(wParam);
            wmEvent = HIWORD(wParam);
            switch (wmId)
            {
                case IDM_ABOUT:
                    DialogBox(hInst, (LPCTSTR)IDD_ABOUTBOX,  hWnd,
(DLGPROC)About);
                    break;
                case IDM_EXIT:
                    DestroyWindow(hWnd);
                    break;
                default:
                    return DefWindowProc(hWnd, message, wParam, lParam); }
            break;
        case WM_PAINT:
            hdc = BeginPaint(hWnd, &ps);
            EndPaint(hWnd, &ps);
            break;
    }
}

```

```

    case WM_DESTROY:
        PostQuitMessage(0);
        break;
    default:
        return DefWindowProc(hWnd, message, wParam, lParam); }
    return 0; }

LRESULT CALLBACK About(HWND hDlg, UINT message, WPARAM
wParam, LPARAM lParam)
{
    switch (message)
    {
        case WM_INITDIALOG:
            return TRUE;

        case WM_COMMAND:
            if (LOWORD(wParam) == IDOK || LOWORD(wParam) ==
IDCANCEL)
            {
                EndDialog(hDlg, LOWORD(wParam));
                return TRUE; }

            break; }
    return FALSE; }

```

Додаток Б

Час прийняття рішень кожним користувачем за методом більшості під час виконання тестового завдання

user_1	user_2	user_3	user_4	user_5	user_6	user_7	user_8
0,0000	7690,8135	0,0000	3824,6022	4839,1603	1861,5454	3727,6451	3206,6413
9406,8166	2558,4045	5787,6102	1670,4450	1710,5456	5180,0254	4227,0600	1091,0065
0,0000	5116,8090	3026,4053	0,0000	5034,0821	3055,6846	7890,0635	3254,4072
0,0000	6723,6118	4898,4086	5998,3305	4787,4120	806,5460	641,6400	6654,8065
6240,0110	6442,8113	5787,6102	0,0000	3572,6013	4416,0003	1268,9425	3051,3052
2932,8052	1201,2021	889,2016	3024,1045	4026,4578	4935,8640	3059,4564	4557,1685
4633,2081	0,0000	5506,8097	8743,0987	4912,5400	2367,3544	3177,3458	4251,1985
1076,4019	1778,4031	0,0000	5777,0205	1964,5716	2606,0084	4004,9850	5122,3154
1170,0020	4040,4071	2854,8050	1195,5460	2383,4850	2654,3668	1585,0326	5837,0641
780,0014	3385,2059	2184,0038	1563,5620	3220,4578	1308,2065	6374,1649	5244,5416
1138,8020	4024,8071	2589,6046	1410,6322	2108,4881	5774,6540	2840,7545	4496,0025
1981,2035	2761,2048	982,8017	3058,9127	2115,8646	4926,9870	5840,8642	4595,6451
2636,4047	0,0000	3463,2061	1847,3872	3298,0640	1052,0254	6045,1058	2053,0444
1435,2025	1809,6032	2979,6052	2380,6540	4032,4120	0,0000	3337,5042	5172,5503
1466,4026	3650,4064	2402,4042	4192,2452	5158,4985	1214,5545	7787,1035	4223,5684
1669,2029	7300,8128	4617,6081	0,0000	854,7560	3746,5750	2188,8675	4471,3062
2496,0044	2230,8039	1357,2024	8608,4154	2006,0740	2032,0848	3512,9487	5185,4075
3744,0066	4758,0084	4383,6077	1620,0652	867,7963	2809,6874	7009,5405	6137,0135
2106,0037	1232,4021	670,8012	5422,5120	1503,5598	4073,2546	7686,7568	4873,5000
1856,4033	4227,6075	3276,0058	2509,0656	2049,5450	2169,5000	2131,0654	4102,6742
1700,4030	2293,2041	3931,2070	2567,3159	3607,8799	865,6545	6604,2400	1274,8291
1731,6030	0,0000	748,8013	4524,5525	2421,1441	4145,0055	3242,1584	3366,6189
1357,2024	78,0002	5070,0089	1653,0979	1976,6458	1528,5440	4229,0326	3328,4299
2995,2052	5382,0094	6754,8118	5478,6544	4100,1856	5325,9874	3782,1458	3566,5400
6318,0111	4477,2078	2964,0052	3603,1154	1442,6984	3627,0450	5717,7541	5232,6417
2667,6047	0,0000	795,6014	3196,0047	5884,5400	855,5400	2678,8643	915,5710
3588,0063	764,4014	6099,6107	2380,3887	3358,7560	5845,0890	6148,1875	1748,4691
2230,8039	6957,6122	5678,4099	6612,3216	5862,1258	1867,4680	1565,6410	3603,8745
1263,6022	717,6012	6364,8112	4164,0005	1750,1567	3600,0564	6083,6028	3592,2400
1513,2027	3042,0053	2137,2037	3784,9450	1538,0070	5809,0450	2099,9644	5975,5257
1029,6018	5553,6098	530,4010	1414,7481	1444,1287	4695,0000	4750,0640	3330,8460
1731,6031	4040,4071	2636,4047	4186,0036	4623,3498	3321,5640	826,6780	3743,0050

1341,6024	1107,6019	748,8013	7192,6546	882,6845	3782,0546	5182,2685	6729,5416
1279,2023	2745,6048	670,8012	8236,6078	4411,2450	851,6450	3433,6415	5785,2687
1107,6019	4508,4079	5382,0094	7305,7174	5485,5488	4941,0214	7155,6854	4675,6824
1497,6026	1981,2035	1435,2025	5463,6874	1926,6874	860,7315	6290,0645	6970,2655
717,6013	2262,0040	0,0000	7325,6515	2923,0456	1371,4550	7494,4865	2632,2699
3042,0054	9640,8170	9126,0161	2654,8654	5052,2745	2537,0058	4673,2615	2119,6974
1185,6021	5350,8094	3447,6060	4563,0425	1460,5574	1050,1185	6402,0380	4706,2567
1591,2028	4149,6073	7238,4127	5913,0851	4953,1548	2564,1684	4807,6400	5132,9875
873,6016	1684,8030	982,8018	0,0000	4863,0556	2286,9844	4359,0645	4258,5000
2605,2045	62,4001	1232,4021	7581,8645	4428,5820	3285,9731	2984,3480	1642,6874
1138,8020	2496,0043	530,4009	3692,6874	3303,0540	2222,6540	1611,9421	3593,6974
1154,4021	1107,6020	2230,8040	6109,9685	3553,6985	5631,0265	2498,5138	3055,5200
1747,2031	2589,6046	2230,8039	6751,9784	1437,5459	5429,0654	1527,2598	1149,6840
920,4016	2605,2045	1700,4030	1382,0485	4621,4090	3308,4646	3485,0058	6100,5458
733,2013	1107,6019	858,0015	3243,0125	1446,6420	4366,6870	4962,3250	5452,6840
1606,8029	1232,4022	2667,6047	7458,9864	2457,0544	5405,6954	7136,1680	5962,8545
748,8013	1138,8020	967,2017	2747,0456	3121,6758	4830,0654	7767,9417	1136,0640
1263,6023	764,4014	1154,4021	4696,6075	2970,8457	4344,0604	1965,0684	6033,0060
826,8014	1185,6021	1950,0034	3653,4702	1547,2455	2479,7715	1469,6541	4455,5400
1154,4021	4414,8078	4758,0084	1616,2117	2028,5444	2796,0470	2304,1987	3354,7451
1388,4024	2574,0045	1419,6025	6171,7293	2058,0487	5049,6740	7021,3215	3835,1684
1107,6019	1185,6021	2652,0047	1759,6473	4187,6382	2034,4687	7956,6984	3409,9482
1528,8027	1606,8028	982,8017	2853,9292	1212,5784	1544,6456	7142,0540	5328,0348
1294,8022	2698,8047	811,2014	3039,1281	2001,0566	4839,9780	3286,6540	4176,1672
1591,2028	3432,0060	5538,0097	3168,6836	1819,8740	1862,8068	5089,1350	4928,1976
2121,6037	1809,6032	998,4018	6887,9247	1173,4685	998,6875	3517,1845	4822,1874
2558,4045	3978,0070	2386,8042	6423,6793	5388,2545	2192,0645	4098,6350	2079,0500
1996,8035	1544,4027	592,8011	2990,0935	3175,0085	5472,6540	3016,8520	1386,1672
1076,4019	2043,6036	499,2009	3580,4689	5002,7950	5218,4865	5839,6541	3151,5236
982,8017	592,8010	639,6011	3426,5209	5365,2670	2723,2654	3580,5424	4476,1452
2199,6038	3603,6063	1201,2021	7613,8584	4284,8824	1133,6870	6746,9800	3118,9840
2776,8049	1638,0029	1216,8021	3443,0045	5001,8740	2497,5400	7360,5424	1385,0647
3962,4070	0,0000	2340,0041	6056,7772	3115,2620	5875,8700	6611,9634	3590,6854
1996,8035	4882,8086	3244,8057	5352,3630	830,0736	5641,5782	5014,5001	4006,9684
2106,0037	2527,2045	967,2017	8377,9370	2928,8526	3021,6784	4134,6000	1824,1680
2043,6036	2433,6043	1388,4024	6470,9482	4619,7129	2088,0158	5451,6540	2608,0615
2199,6038	2917,2051	1606,8028	2242,5991	5599,4203	5816,9457	7924,8054	1582,8522
3229,2056	2137,2037	2542,8044	1921,8191	4958,5458	3199,3461	7855,3568	1532,1675
2886,0051	1856,4032	3135,6055	1883,7728	5289,9947	2141,0045	1284,0036	5519,0678

2059,2036	2979,6052	1622,4028	5305,4025	5505,6011	5600,6417	7284,8022	2938,6541
3744,0066	639,6011	2371,2042	5143,5466	4511,0025	1473,0546	3300,6851	2845,1680
2418,0043	5350,8094	967,2017	1805,6481	2852,6983	3995,5477	1308,8560	3235,0326
3837,6067	4040,4071	2464,8043	7648,6099	1253,5870	1978,0580	3172,1670	3291,1648
3993,6070	5085,6090	5397,6095	7848,1851	5572,9785	1474,9719	1468,5600	847,9145
1310,4023	1591,2028	2683,2047	3864,1636	3519,9135	3107,0648	3288,0546	2124,0265
1840,8032	2901,6051	717,6012	7790,3560	4574,4210	3692,6400	5239,6854	2203,3480
2480,4043	4524,0079	3057,6053	8280,2130	2212,5454	5577,0050	3413,7054	4252,0526
1778,4031	4399,2078	2386,8042	3131,8136	3481,6368	2867,9891	5220,9685	1719,1948
951,6017	5974,8105	1794,0031	8544,6884	2656,8747	5403,0984	4050,0650	6975,6475
1326,0023	2620,8046	1123,2019	6876,1817	2548,5400	4179,1670	2778,6540	2674,6540
904,8016	3135,6055	4321,2076	7949,5014	5222,0008	3925,2258	5394,7854	1846,9140
2277,6040	0,0000	1404,0025	6434,0455	3225,2547	805,1670	4147,6532	6663,0010
1591,2028	312,0005	1544,4027	5805,6541	1152,5875	3351,9480	5211,0645	2615,8740
577,2011	2808,0050	1419,6025	3813,1182	1766,9310	4587,1570	3719,0450	3420,6540
2012,4035	483,6008	1045,2018	7616,2584	5475,8740	2396,5487	3649,8410	2005,7002
858,0015	2636,4047	748,8014	6341,2708	2541,5448	999,0345	3850,0050	1469,8740
2355,6041	3244,8057	826,8014	7794,9458	1615,6546	3136,9120	4646,7241	5037,6870
6333,6112	7207,2127	4570,8081	5195,6011	2119,5400	3539,6540	5651,0546	1775,0840
7971,6140	7129,2125	0,0000	7895,1264	5802,4210	5370,2645	4502,9865	3628,5360
7550,4132	5740,8101	0,0000	7517,2888	1255,9852	3911,4530	953,6542	4921,6202
1934,4034	6614,4116	5101,2089	7359,4000	3458,6840	2616,7860	6190,5181	4871,7301
0,0000	0,0000	0,0000	5558,2465	3477,0002	3533,5854	2053,6540	6593,1952
234,0004	1123,2020	1092,0019	6185,0546	5489,6875	4160,5400	5043,2400	5237,6755
1154,4020	2698,8047	6723,6118	8076,1175	2225,0058	4414,9841	982,3350	5911,5245
577,2010	546,0009	5319,6093	6829,0465	5201,0754	5614,8256	2252,2051	6985,5426
1528,8027	2433,6042	0,0000	7399,7050	4659,0545	5840,4683	3825,9874	3855,0254
2761,2049	3728,4066	8595,6151	5361,9720	3483,5400	5688,1198	5863,0456	6146,1284
717,6013	2199,6039	4898,4086	3937,0064	4949,3350	3242,2640	4554,9865	5992,8562
2137,2038	0,0000	3400,8060	3142,9840	5425,8194	4952,9684	3191,6450	5292,0265
93,6002	4867,2085	3868,8068	1753,0654	6757,1292	2402,6540	983,8654	4947,6862
1528,8027	5787,6102	4758,0084	8430,7542	4125,6474	4944,2450	4098,5400	5288,0020
1279,2022	1887,6033	2886,0050	7234,0541	6500,5332	5359,5700	1595,6451	3794,9041
1154,4020	2246,4039	1076,4019	3187,6542	4153,4363	4055,4501	908,0560	3124,2015
1294,8023	3697,2065	3198,0057	3668,0654	5870,0526	2405,6541	3089,5424	3953,8215
1388,4024	1294,8023	1076,4019	866,0045	6576,4565	5843,6410	2725,6840	1622,0475
1435,2025	6146,4108	7612,8134	7374,7526	3383,8335	2268,8970	4439,5457	920,3360
1076,4019	2386,8042	1747,2031	6708,8175	6364,0220	2684,0546	3668,5205	0,0000
811,2014	4914,0086	3385,2059	6785,9478	6694,4651	1900,4500	4757,5300	2744,0326

795,6014	3603,6064	3572,4063	4233,5454	957,0566	5987,0045	560,0035	4584,0326
218,4004	2636,4046	0,0000	2218,6324	6238,6533	4971,1187	4961,0625	1950,4265
1622,4028	2511,6044	4352,4076	7233,8756	5943,0542	6173,9685	2544,8427	1287,5126
592,8011	655,2012	1934,4034	5986,9685	3103,7974	2152,6285	3559,1679	5900,7633
1372,8024	2745,6048	2730,0048	7779,0556	2643,0045	4271,5460	2921,0357	1233,0412
2964,0053	4212,0074	811,2015	4564,9451	1998,6840	5993,5700	880,1673	4503,7531
702,0012	1248,0021	2964,0052	2980,0028	3937,9147	3918,8450	2048,2843	4744,6514
1466,4026	3354,0059	2589,6046	6918,9854	6688,6540	4365,6841	2855,0197	3436,0496
1372,8024	202,8003	1404,0024	2040,2498	6644,0646	4118,5488	3260,0615	985,5464
0,0000	1014,0018	1154,4021	3220,6504	0,0000	6745,2000	2318,4280	3134,6130
982,8017	2090,4037	5210,4092	5804,0640	1127,2540	5487,6840	865,0948	1231,1150
967,2017	5928,0104	3354,0059	7526,3654	2319,8452	3011,6874	4502,0315	2684,2020
1544,4027	2246,4040	2184,0039	6944,5450	4580,6450	5178,2258	2044,8746	3777,9875
670,8012	2979,6053	1872,0033	2241,6982	1616,0040	4819,8460	4602,6541	4130,0670
1856,4033	2464,8043	967,2017	1121,7545	4459,4580	3497,4971	1893,0870	2815,8040
109,2002	9750,0171	0,0000	3044,5400	4216,0230	5022,0246	2425,0060	5225,7196
483,6008	2121,6037	202,8003	6406,0465	2598,9420	4810,9408	2227,9685	4433,0440
655,2011	1513,2026	0,0000	8422,9465	3457,2761	3553,3549	1051,0460	3414,2003
1856,4033	4524,0080	0,0000	2896,6445	2158,0250	3914,2274	4926,0655	1581,5614
1404,0025	8564,4151	7004,4123	7356,0422	3827,6478	4881,2600	3541,5454	2373,5987
717,6013	2184,0039	6162,0109	1751,7354	5957,0014	6192,5870	951,0360	4978,1554
1450,8025	0,0000	4040,4071	4805,0034	3632,9541	3373,5400	4336,8530	2776,5789
1232,4022	4617,6081	8938,8157	8420,8559	1908,0450	1486,6840	2568,1955	3843,0896
1216,8022	982,8018	2776,8049	1760,0458	6987,1255	3788,0185	2123,2670	2386,0015
78,0001	5912,4104	3088,8054	2356,9874	1079,6840	2837,6400	4527,6854	5084,4002
1840,8032	967,2017	0,0000	6523,0645	2437,2870	5715,9982	2505,8697	1897,9845
2386,8042	3026,4054	1513,2027	4756,6465	6332,5888	2059,6847	4343,0650	287,6325
936,0016	2355,6041	2714,4047	6883,6875	1244,0158	2943,3845	2904,1850	3080,5466
1310,4023	1716,0030	1450,8026	2006,0686	6181,5340	6073,5355	3495,0678	2218,5877
2059,2036	1825,2032	733,2013	2708,8746	4199,1788	1436,9416	3817,6854	4977,9874
1060,8018	4399,2077	3744,0065	3200,6456	1542,4904	4989,0895	3909,1970	3347,8451
2527,2044	2340,0041	2230,8039	1556,9652	1230,1373	3310,6540	1111,8531	2477,0878
717,6013	748,8013	1762,8031	1192,0560	4282,4136	2885,5455	1464,6541	1333,1559
733,2013	1435,2026	1014,0018	5598,0445	5373,0685	5520,8862	2340,0675	5419,9745
1606,8028	6832,8120	6115,2107	4010,6541	6615,1856	1195,9685	839,1656	1684,0167
1107,6019	577,2010	0,0000	1402,2155	6761,3007	3915,0265	1601,6940	5113,6934
1294,8023	3182,4056	4383,6077	6845,6450	3303,6524	1301,6854	4996,5470	4020,8640
1154,4021	1310,4023	655,2012	2778,0564	2246,4812	4578,5824	3870,9640	3002,0054
4149,6073	0,0000	3447,6061	959,0640	5536,5322	1286,6534	4902,9684	2672,6876

1341,6024	5054,4089	0,0000	5346,6987	2930,5416	6231,6840	1371,5454	1285,4587
982,8017	4446,0078	5085,6089	7305,4555	6058,9870	1096,2251	0,0000	3769,6540
1388,4024	982,8017	2870,4050	2474,2656	3331,0630	2967,0065	1749,9685	1384,6842
2152,8038	3603,6064	3026,4053	1815,2654	1692,8351	4419,5840	3277,6451	5969,0646
608,4011	639,6011	499,2009	1363,6435	4324,0895	4320,8540	4613,6541	969,1150
1762,8031	2152,8038	1528,8027	2259,2500	4646,9562	3589,1157	1932,0640	2481,9670
2028,0036	1123,2020	1544,4027	6855,2465	3619,5400	1505,0084	4345,9865	3967,8654
702,0013	1185,6021	920,4016	0,0000	4045,8464	5471,6845	3487,6451	4658,0564
1123,2020	1872,0033	1029,6018	1717,6455	5966,2450	0,0000	2971,1897	3940,8702
702,0013	967,2017	2152,8038	1402,9874	5256,4125	5943,9325	1484,0316	685,6743
0,0000	2496,0044	3931,2069	1818,3433	4990,9480	4023,0159	3766,1675	2762,6880
140,4002	2184,0038	2433,6042	0,0000	5251,2540	5195,6440	2234,8740	5867,1145
1170,0020	842,4014	1419,6024	1544,5450	4350,0654	3911,7400	2792,6540	3444,0278
1918,8034	2839,2050	1107,6020	1465,0085	5669,5400	5477,0650	1049,8410	6545,2030
780,0013	0,0000	4118,4072	5794,6500	2747,0050	6013,0150	4369,0580	7845,0030
1060,8019	858,0015	998,4018	2855,5466	2694,3540	4747,1678	1336,6400	859,9685
2059,2036	1029,6018	1185,6021	1716,0354	6983,0650	4835,0315	2609,0020	3758,8645
1466,4026	1388,4025	1138,8020	1612,5458	2207,6544	3745,5400	0,0000	3110,9685

Додаток В

Кількість правильних та неправильних відповідей користувачів у ході виконання тестового завдання

user	user	user	user	user	user	user	user
_1	_2	_3	_4	_5	_6	_7	_8
0	1	0	0	0	0	1	1
1	1	1	1	1	0	1	0
0	1	1	0	0	1	0	0
0	1	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	1	0
1	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	0
0	0	0	0	1	0	1	0
0	1	1	1	1	0	1	1
1	0	1	1	1	0	0	0
1	1	0	0	0	0	1	1
0	1	0	1	1	0	0	1
0	0	1	1	0	0	1	1
0	0	0	1	1	0	1	1
0	0	1	1	1	1	0	0
0	0	0	0	1	1	1	0
0	0	0	1	0	1	1	0
1	1	0	0	1	0	1	1
0	1	0	1	1	0	0	0
0	0	0	1	0	1	0	1
1	1	0	1	0	0	0	1

0	0	0	1	1	0	0	0
0	1	1	1	1	0	1	0
0	0	0	1	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	1	0
0	0	1	1	1	0	1	0
0	1	0	0	1	1	0	0
0	1	0	1	0	1	0	0
0	1	0	1	0	0	0	0
1	1	1	1	0	1	1	1
0	1	0	0	0	0	0	1
0	1	1	0	0	1	1	1
1	1	0	0	1	1	1	1
0	1	1	0	1	1	1	1
0	1	1	0	0	1	0	1
0	1	1	0	1	1	1	1
0	1	0	1	1	0	1	1
0	0	1	0	1	1	1	1
0	0	1	0	1	1	0	1
0	0	1	0	0	1	0	0
0	0	0	0	1	1	1	1
1	1	1	1	0	0	0	0
1	0	1	1	0	1	0	0
1	0	0	1	0	1	0	1
0	1	0	1	1	1	0	1
1	0	0	0	0	1	0	0
0	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	0	1	0	1	0

1	0	1	1	1	1	0	1
1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	1	0	0	1	1	0
0	0	0	1	1	1	1	0
0	0	0	1	0	1	1	0
0	1	0	0	0	1	0	1
1	1	0	0	0	1	1	1
0	1	0	1	0	1	0	1
1	1	1	0	1	1	0	1
0	1	0	1	0	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1	0
0	1	0	0	1	0	1	0
0	0	0	0	1	1	0	0
0	0	1	0	0	0	1	0
1	1	1	1	1	0	1	0
1	0	1	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0
0	1	0	0	1	1	1	1
1	0	1	0	0	1	1	1
0	1	0	0	1	1	0	1
0	0	1	0	0	1	1	1
0	0	0	0	1	1	1	1
0	0	0	1	0	1	1	1
0	0	0	1	0	1	0	1
0	1	0	1	1	1	1	0
0	0	0	1	0	1	0	1
0	0	0	1	0	0	0	1

0	0	1	0	0	1	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0
0	1	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	1	0	0
0	1	0	1	1	1	0	1
0	1	0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	1	0	0	1
0	1	1	1	1	1	0	1
1	0	0	1	0	1	1	1
0	1	0	1	0	1	0	0
0	1	0	0	0	1	1	0
0	1	0	1	0	1	0	0
0	1	1	1	0	1	1	0
0	1	1	0	0	1	1	1
0	1	1	0	1	0	0	1
0	1	0	1	1	1	1	1
0	1	0	1	0	1	1	1
0	1	1	1	1	0	0	1
0	0	0	0	1	1	0	1
0	1	1	1	1	1	0	1
0	1	1	0	1	0	0	0
0	0	1	0	0	1	0	0
0	0	0	0	1	1	0	0
0	0	0	0	1	1	0	0
1	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	0	0	0	1

1	0	1	1	0	0	0	1
0	1	1	0	0	0	0	1
0	1	1	1	0	0	1	1
0	1	1	1	1	0	0	1
0	0	0	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	0	1
0	0	0	1	0	1	0	0
0	0	0	1	1	1	0	1
0	0	0	1	1	0	0	1
1	0	0	0	1	1	0	0
1	0	1	0	0	1	1	0
1	1	1	0	1	1	0	0
1	0	1	1	0	1	1	0
1	0	1	1	0	0	1	0
1	0	1	0	0	1	1	0
1	1	0	1	0	1	1	0
1	1	0	0	0	1	1	0
0	1	0	1	0	1	0	1
0	1	0	1	0	0	1	1
0	1	0	1	0	0	1	1
0	1	1	0	0	0	1	1
1	0	0	0	1	1	0	1
0	0	1	1	0	0	1	0
0	0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	1	1	0	0
1	0	0	0	0	1	0	0
1	0	0	1	1	1	0	0

1	1	1	0	0	1	0	0
0	1	0	0	0	1	1	0
1	0	1	0	1	1	1	0
1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	1
0	0	1	0	0	0	1	0
0	0	0	0	1	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	1
0	1	0	1	1	0	0	0
0	0	0	1	1	0	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	0	1	1	1
1	0	1	0	0	1	0	1
0	0	1	0	1	1	1	0
0	1	1	1	1	0	1	1
0	1	1	0	0	1	0	0
0	1	0	1	1	1	0	0
0	1	0	1	0	1	0	0
0	1	0	1	0	1	0	0
1	0	0	1	1	1	0	0
1	0	0	1	0	1	0	0
1	0	1	0	1	1	0	1
0	0	1	0	1	0	0	1
1	0	0	0	0	1	1	1
0	0	0	0	1	1	1	1
0	0	0	1	0	1	0	0
0	0	1	1	1	1	1	0

0	0	1	0	0	1	0	0
1	0	1	1	0	0	1	0
0	0	0	1	1	1	1	1
1	1	1	0	0	1	1	1
1	1	0	0	1	1	1	1
1	1	0	1	1	1	0	1
1	1	0	1	1	1	1	1
1	0	0	1	0	1	0	1
0	1	0	1	1	1	0	1
0	1	0	1	0	1	1	1
1	1	1	1	1	0	0	0

Додаток Г

Акти впровадження результатів дисертації

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор з науково-педагогічної роботи по організації навчального процесу та його науково-методичного забезпечення



Васілевський О.М.

«22» березня 2020р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи

Кузьміної Наталі Федорівни

«ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ ГРУПОВИХ РІШЕНЬ У РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ»

у навчальний процес на кафедрі автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій Вінницького національного технічного університету

Члени створеної комісії у складі декана факультету комп'ютерних систем і автоматики проф. Бісікало О.В., заступника завідувача кафедри АІТ з навчальної роботи доцента Папінова В.М. склали цей акт про те, що у 2019 - 2020 році у навчальному процесі на кафедрі автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій Вінницького національного технічного університету використовувалися результати дисертаційної роботи на тему **«Інформаційна технологія підтримки прийняття групових рішень у розподілених системах»** здобувача Кузьміної Наталі Федорівни (науковий керівник д.т.н., професор Кветний Р.Н.) під час проведення лекцій, практичних занять та лабораторних робіт з дисциплін «Інтелектуальні інформаційні технології» та «Теорія прийняття рішень».

Декан ФКСА

Заступник завідувача кафедри АІТ

О.В. Бісікало

В.М. Папінов

Науково-виробниче підприємство

“СПІЛЬНА СПРАВА” Товариство з обмеженою відповідальністю

Україна, 21000, м. Вінниця, вул. 1 Травня, 36/3, тел./факс +380 (432) 329 106, 329 107, 329 108

код ЄДРПОУ 31041670, код платників податків 310416702282, свідоцтво № 0183329

IBAN : UA 41 322313 0000026004000003226 в АТ «Укресімбанк», м. Київ



Затверджую

Директор НВП «Спільна Справа», ТОВ

Шикалова Анастасія Олександрівна

«05» березня 2020 р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи

Кузьміної Наталі Федорівни на тему:

«Інформаційна технологія підтримки прийняття групових рішень у розподілених системах»

Комісія у складі головного ІТ спеціаліста Житанського Сергія Ігоровича та менеджерів проєктів к.т.н. Білоконя Сергія Анатолійовича та к.т.н. Сторчака Володимира Григорович встановила, що при розробці проєктів управління контекстною рекламою у соціальних мережах Kenshoo та розробці комплексних відео проєктів для залучення роздрібних клієнтів Molengo, були використані наступні результати наукових досліджень Кузьміної Наталі Федорівни, що отримані нею при виконанні дисертаційної роботи:

- Технології групового прийняття рішень з врахуванням переваг кожного користувача;
- Програмне забезпечення розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень, орієнтоване на взаємодію знань користувачів та знань системи, отриманої шляхом синтаксичного синтезу тестових файлів програмного коду.

Практичне використання означених результатів на протязі січня – березня 2020 р. показало їх корисність та ефективність у організації роботи територіально розподілених існуючих команд розробників та тестувальників програмного забезпечення та навчання нових членів команд.

Члени комісії:

 Житанський С. І.
 Білоконь С.А.
 Сторчак В.Г.

Додаток Д

Список публікацій за темою дисертації

Основні наукові результати дисертації викладено в таких наукових публікаціях:

[1] Н. Кузьміна, та А. Петух, “Огляд методів обчислення Байєсових мереж”, *Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки*, №1, с. 112-117, 2012. Провела огляд методів обчислення Байєсових мереж.

[2] Р. Кветний, та Н. Кузьміна, “Розподілена система підтримки прийняття групових рішень”, *Інформаційні технології та комп’ютерна інженерія*, №1, с. 4-14, 2020. Розробила практичну реалізацію інформаційної технології розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень.

[3] N. Kuzmina, “The informational model of Bayesian networks clustering methods in group decision making support systems”, *Norwegian journal of development of the international science*, Vol. 1, №39, p. 22-25, 2020.

[4] Н. Кузьміна, “Аналіз основних характеристик розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень”, *Сборник научных трудов SWorld*, т. 6, с. 84–87, 2013.

[5] А. Петух, В. Войтко, Є. Кузьмін, та Н. Кузьміна, “Автоматизована система підтримки групових рішень”, *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. №1, с. 76–79, 2009. Розробила алгоритмічне забезпечення автоматизованої системи підтримки групових рішень.

[6] А. Петух, В. Войтко, Д. Кательніков, та Н. Кополовець, “Інтерфейсні елементи системи колективного тестуючого навчання”, *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, №1, с. 98–106, 2007. Розробила інтерфейсні елементи режимів роботи користувачів в інтерактивних системах.

[7] А. Петух, В. Войтко, Є. Кузьмін, Н. Кополовець, та С. Бевз, “Моделі режимів групового вибору користувачів в інтерактивній системі колективної взаємодії”, *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, №1(13), с.

80–86, 2007. Розробила моделі реалізації режимів групового вибору в інтерактивній системі колективної взаємодії.

[8] А. Петух, В. Войтко, Є. Кузьмін, та Н. Кузьміна, “Принципи реалізації групового вибору в інтерактивних системах колективної взаємодії”, *Нові технології. Науковий вісник Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління*, №1(19), с. 160–166, 2008. Розробила практичні рекомендації щодо використання принципів реалізації групового вибору в інтерактивній системі колективної взаємодії.

[9] А. Петух, В. Войтко, Є. Кузьмін, та Н. Кузьміна, “Модель процесу підтримки прийняття рішень з використанням Байєсових мереж”, *Наукові праці ВНТУ*, №3, с. 1-7, 2009. Розробка моделі процесу підтримки прийняття рішень з використанням Байєсових мереж.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

[1] Н. Кузьміна, “Коригування ймовірностей Байєсової мережі методами зв’язного дерева”, *Матеріали науково-технічної конференції Інформатика, математика, автоматика – 2020*, Суми, 2020, с. 56-57.

[2] Н. Кузьміна, “Алгоритмічна реалізація розподіленої системи підтримки прийняття групових рішень”, *Збірник матеріалів XLIX науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів Вінницького національного технічного університету*, Вінниця, 2020. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2020/paper/view/8693>. Дата звернення: Квіт. 30, 2020.

[3] А. Петух, В. Войтко, Є. Кузьмін, та Н. Кузьміна, “Модель системи підтримки прийняття групових рішень”, *Збірник матеріалів шостої міжнародної конференції ІОН – 2008*, Вінниця, 2008, Том 2, с. 514–517. Розробила інформаційну модель системи підтримки прийняття групових рішень.

[4] А. Петух, Н. Кузьміна, Є. Кузьмін, та В. Войтко, “Методи прийняття рішень і прогнозування подій в інтерактивних системах”, *Збірник матеріалів*

третьої науково-практичної конференції *Матеріали електронної техніки та сучасні інформаційні технології (МЕТІТ-3)*, Кременчук, 2008, с. 228. Проаналізувала методи автоматизації процесу прийняття рішень та прогнозування подій в інтерактивних системах.

[5] А. Петух, В. Войтко, Є. Кузьмін, Н. Кополовець, та С. Бурбело, “Методи групового вибору в інтерактивних системах колективної взаємодії”, *Збірник матеріалів міжвузівської науково-практичної конференції Прогресивні інформаційні технології в науці та освіті*, Вінниця, 2007, с. 188–195. Проаналізувала методи забезпечення групового вибору користувачів в інтерактивних системах.

[6] Р. Кветний, та Н. Ф. Кузьміна, “The main principles of the distributed group decision support system”, *Збірник матеріалів дванадцятої міжнародної конференції ІОН – 2020*, УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2020. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://ies.vntu.edu.ua/reports/program/PROGRAM-IES-20200525.pdf>. Дата звернення: Трав. 26, 2020.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

[1] С. Юхимчук, С. Бурбело, С. Бевз, Н. Кузьміна, та С. Хрущак, “Комп’ютеризована система управління індивідуальними навчальними планами магістратури”, *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. №2(16), с. 5–8, 2008. Розробила аналітичне забезпечення функціонування комп’ютеризованої системи управління навчальними планами.

[2] С. Юхимчук, С. Бурбело, С. Бевз, Н. Кузьміна, та С. Хрущак, “Формування індивідуальних планів магістрантів засобами автоматизованої системи документообігу”, *Збірник тез доповідей третьої міжнародної науково-технічної конференції ФОТОНІКА ОДС – 2008*, Вінниця, 2008, с. 87–88. Розробила забезпечення автоматизації системи ведення документообігу.

[3] В. Мокін, С. Бурбело, С. Бевз, В. Войтко, та Н. Кузьміна, “Система автоматизованого ведення документообігу рад вищих навчальних закладів”, *Наукові праці ВНТУ*, №3, с. 1–6, 2008. Розробила алгоритмічну реалізацію системи автоматизованого ведення документообігу.

Свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір:

[1] Н. Ф. Кузьміна, та Є. В. Кузьмін “Розподілена система підтримки прийняття групових рішень”, *Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір*. №50446, Лип. 26, 2013. Розробила алгоритмічне забезпечення розподіленої системи.

[2] Є. В. Кузьмін, та Н. Ф. Кузьміна, “Комп’ютерна програма підтримки прийняття групових рішень на основі Байєсової мережі”, *Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір*. №25844, Верес. 25, 2008. Розробила програмну реалізацію групового вибору з використанням Байєсової мережі.

[3] Н. Ф. Кузьміна, та Є. В. Кузьмін, “Комп’ютерна програма групового прийняття рішень щодо виконання послідовності дій з використанням принципу медіани Кемені в системах колективної взаємодії”, *Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір*. №23007, Груд. 3, 2007. Розробила програмну реалізацію групового вибору з використанням принципу медіани Кемені.