

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: $\boxed{\times}$, де $\boxed{\times}$ – 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 \square_x 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: $\langle G, C, Z, U, V, A, L, T_g, M, D_g, H \rangle$, where G – 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 H 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”, *Свідомство 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.....	63
ДОДАТКИ	63
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 сформувати 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 басової 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 басову мережу для формування альтернатив вибору користувачів, яка використовує апріорні 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 авторів 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.

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, “Learning 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 Байесових

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 Байесових мереж”, *Наукові праці ВНТУ*, №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”, *Свідомство 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”, *Свідоцтво 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”, *Свідоцтво 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”, *Оптико-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, *Основы теории принятия решений*. 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, *Системы підтримки прийняття рішень: Навчальний посібник*. К.: КНЕУ, 2004.

[141] П. І. Бідюк, та Л. О. Коршевніук, *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.