

<http://www.tsp.gatech.edu/concorde.html>. 14. Neto D. Efficient cluster compensation for Lin–Kernighan Heuristics. PhD thesis, Department of Computer Science, University of Toronto, 1999. 15. Laporte G., Potvin J-Y., Quilleret F. A Tabu Search using Genetic Diversification for the Clustered Traveling Salesman Problem // *Journal of Heuristics*, Vol 2 (3), p. 187-200, 1996. 16. Базилевич Р. П., Кутельмах Р. К. Алгоритми динамічного формування моделі робочого поля для задачі комівояжера з кластерним розподілом точок // *Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”*, Львів, 2006. 17. Базилевич Р. П., Ремі Дюпа, Кутельмах Р. К. Використання алгоритмів локальної оптимізації для розв’язування задачі комівояжера з кластерним розподілом точок // *Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”*. – Львів, 2006. 18. Bazylevych R., Dupas R, Kutelmakh R. Scanning-area algorithms for clustered TSP // *Proceedings of International conference “Comp. science and Information Technologies”*, Lviv, Polytechnic University, 2006, pp. 148–152. 19. Bazylevych R., Prasad B., Kutelmakh R., L.Bazylevych. Decomposition and Scanning Optimization Algorithms for TSP, *Proceedings of the International Conference on Theoretical and Mathematical Foundations of Computer Science (TMFCS-08)*, pp. 110–116, Florida, USA, 2008.

УДК 004.89

А.Ю. Берко, О.М. Явлінський

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра інформаційних систем та мереж

## **ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ УПРАВЛІННІ НЕПРИБУТКОВИМИ ПРОЕКТАМИ**

© Берко А.Ю., Явлінський О.М., 2009

Описано створену інтелектуальну систему, метою якої є визначати ймовірність успішності неприбуткових проектів, що зазвичай організуються неприбутковими та неурядовими організаціями. Науково обґрунтованим є використання теорії ймовірності та методу ядрового згладжування при визначенні ймовірностей з оперуванням малими обсягами наявних даних.

Ключові слова – системи підтримки прийняття рішень, інтелектуальні системи, теорія ймовірності, прогнозування, проектний менеджмент, прийняття рішень в умовах невизначеності.

In the abstract it is showed the example of the implemented intelligence system which aim is to predict the estimated successfulness of the unprofitable projects, which are mostly realized by the nonprofit and non-governmental organizations. The usage of probability theory and the kernel smoothing method while proceeding the predictions operating with a small number of available data is scientifically grounded.

Keywords – decision making support systems, intelligence systems, probability theory, prediction, project management, decision making in uncertain terms.

### **Постановка проблеми управління неприбутковими проектами**

Сьогодні громадянське суспільство України з кожним днем все міцніше “стає на ноги”. Яскравими показниками цього є достатньо впевнений розвиток в Україні так званого “третього сектора” – поява та активізація все більшої кількості неурядових організацій, молодіжних рухів, благодійних фондів, а також все більше бажання населення займатися громадською діяльністю, організовуючи неприбуткові, соціальні події та акції, та отримуючи взамін щось більше ніж просто матеріальну винагороду. Кількість зареєстрованих громадських об’єднань постійно зростає.

Неприбуткові проекти є одним з основних засобів для досягнення неурядовими організаціями своїх статутних цілей. Реалізація неприбуткових проектів пов'язана з великою кількістю перешкод, що зумовлені специфікою роботи так званого “третього сектора”, а отже, потребує ретельного контролю під час аналізу потреб проекту та вірогідного результату його втілення.

Більшість комерційних і державних організацій не приймають серйозних рішень без використання комп'ютерної підтримки. Але, на жаль, у сфері НУО далеко не завжди є можливість впроваджувати та застосувати програмні засоби. Це зумовлено різними факторами, зокрема високими цінами на такі інтелектуальні системи, важкістю підлаштування таких систем під конкретні потреби та вимоги НУО тощо.

Формалізація методів прийняття рішень, їхня оцінка й узгодження є надзвичайно складним завданням. Збільшення обсягу інформації, що надходить до керівників, ускладнення задач, необхідність врахування великої кількості взаємно пов'язаних чинників і динамічного оточення вимагають використання комп'ютерної техніки для прийняття рішень, що викликало появу нового класу систем – систем підтримання прийняття рішень. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень значно полегшують управління проектами та прийняття керівниками організацій важливих рішень щодо організації та реалізації власних неприбуткових проектів.

Отже, метою цієї статі є дослідження способів полегшення управління неприбутковими проектами та розроблення програмних засобів, що будуть допомагати організаторам вирішувати проблему прийняття правильного рішення в умовах невизначеності, тобто будуть здійснювати процес підтримки прийняття рішень.

### **Аналіз останніх публікацій та літературних джерел**

Сьогодні у світі існує велика кількість програмних засобів, інформаційних та інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень при організації проектів різного типу, характеру та цілей. Загалом їх зазвичай називають системами управління проектами (СУП). Програмне забезпечення цієї області являє собою цілий ринок з доволі високим загальним обігом коштів. Нині існує декілька сотень систем, що так або інакше реалізують функції керування та підтримки прийняття рішень при організації проектів. Проте їх різноманітна “заточеність” і “розкрученість” накладають обмеження. Реально на українському ринку стабільно наявні не більше ніж 7–8 систем. Серед них є і вітчизняні розробки. Але таких із них, що могли б бути використані у цілях підтримки прийняття рішень при організації неприбуткових проектів, – ще менше.

Перерахуємо основні завдання, для вирішення яких використовуються системи управління проектами:

- розроблення розкладу виконання проекту із урахуванням обмеженості ресурсів;
- розроблення розкладу виконання проекту без урахування обмеженості ресурсів;
- визначення критичного шляху і резервів часу виконання операцій проекту;
- визначення потреби проекту у фінансуванні, матеріалах та устаткуванні;
- визначення розподілу в часі завантаження поновлюваних ресурсів;
- аналіз ризиків і планування розкладу з урахуванням ризиків;
- облік виконання проекту;
- аналіз відхилень ходу робіт від запланованого і прогнозування основних параметрів проекту.

Як правило, СУП діляться на системи початкового рівня і професійні системи управління проектами. На відміну від систем початкового рівня, професійні системи – це, як правило, вже не окремі програми, а комплекси, до складу яких входять різні утиліти і модулі, призначені для вирішення специфічних завдань.

### **Аналіз систем управління проектами професійного рівня**

**MS Project** (розробник – Microsoft).

Цей пакет використовують для планування своїх проектів багато мільйонів людей. Його стандартний офісний інтерфейс дає змогу швидко навчитися використовувати продукт. Ранні версії цьо-

го продукту не відрізнялися функціональністю, проте версія MS Project 2003 виділяється широкими можливостями інтеграції з іншим ПО від Microsoft. Головна відмінність версії MS Project 2003 від попередніх версій – Microsoft Project Central. Це додаток для сумісного управління проектами за допомогою засобів WEB, що дає змогу організувати двосторонній обмін даними між всіма учасниками проекту, а також надання інформації особам, у яких не встановлений Microsoft Project 2003.

Наприклад, підтримується обмін інформацією з Outlook. Менеджер проекту має можливість передати виконавцям дані про завдання, які необхідно виконати, а ті, своєю чергою, можуть інформувати його про всі зміни в робочому календарі. Крім того, користувачі MS Outlook мають можливість проглядати всю проектну інформацію з цього застосування.

**Primavera Project Planner** (розробник – Primavera inc. [www.primavera.com](http://www.primavera.com)).

Для побудови інтегрованої системи управління проектами компанія Primavera inc. пропонує декілька продуктів. Ця різноманітність може заплутати, тому ми розглянемо Primavera Project Planner (P3) як продукт, найближчий до теми цього розділу.

Інтерфейс системи – стандартний, віконний. Локалізація торкнулася всього, окрім системи меню (назви полів, вбудовані звіти, керівництво користувача). У версії 1.0 було обмеження на кількість одночасно відкритих проектів – не більше ніж 4, проте в наступних проектах це обмеження зняте. У постачанні – декілька десятків стандартних шаблонів представлення проекту (у документації – макетів (layout)), користувачеві надається можливість створювати і зберігати власні макети. Генератор звітів Report Smith, що поставляється у складі пакета, дає змогу створювати будь-які табличні і графічні звітні форми. Ієрархічна організація проекту – за довільною комбінацією кодів. Привертає увагу відмінна реалізація принципу WYSIWYG при виведенні звітів на друк.

У пакеті реалізований аналіз відхилень ходу робіт від запланованого методом освоєного об'єму (Cost/Schedule Control System Criteria – C/SCSC) і прогнозування основних параметрів проекту. Як засіб аналізу ризиків пропонується продукт Monte Carlo. Він дає змогу оцінити вірогідність виконання проекту в задані терміни в межах бюджету.

Загалом можна сказати, що P3 – функціонально розвинений і зручний інструмент.

**Spider Project** (розробник – компанія “Технології управління “Спайдер”, [www.spiderproject.ru](http://www.spiderproject.ru))

Без перебільшення можна сказати, що Spider Project – найкраща російська система управління проектами.

Робочий простір головного вікна розділений на три функціональні зони. У лівій її частині – ярлики до відкритих проектів. У середній частині – ярлики на шаблони представлення і дані проекту. У правій частині розташовуються ярлики на відкриті документи проекту. Документ проекту можна створити з текстових файлів, html-файлів або файлів баз даних.

Для аналізу виконання проекту, а також для аналізу “що якщо” дуже важливо мати можливість зберігати колишні версії проекту і мати можливості для порівняння і аналізу відхилень поточної версії проекту від попередніх. У Spider Project є можливість зберігати необмежену кількість версій проекту і аналізувати хід виконання робіт не тільки порівняно з якоюсь базовою версією, але і з будь-якою іншою.

Так само варто відзначити хорошу довідкову систему продукту, в якій, крім керівництва користувача, передбачений перероблений російський переклад РМВок (Project Management Body of Knowledge).

Таблиця 1

Порівняльні характеристики систем управління проектами

Назва системи	Складність навчання	Web-доступ до проектної інф.	Аналіз ризиків проекту	Аналіз проекту на успішність	Вартість продукту
MS Project	Низька	Так	Ні	Ні	Висока
Primavera	Висока	Так	Так (додатковий продукт)	Ні	Висока
Spider Project	Висока	Ні	Ні	Порівняння відхилень у версіях	Висока

## **Проблеми розглянутих систем**

Як вже було зазначено раніше, неприбуткові проекти здебільшого втілюють організації так званого “третього сектора”, що мають певні особливості, такі як неприбутковість і, відповідно, обмеженість у грошових та людських ресурсах, традиційна вузькопрофільність організовуваних проектів, специфічні вимоги щодо критеріїв успішності їх виконання. Це все створює для таких організацій істотні проблеми, якщо вони хочуть застосувати такі засоби управління та підтримки проектів при організації власних. Можемо виділити такий перелік недоліків:

- Велика вартість програмного продукту. Оглянуті в цій частині кваліфікаційної роботи програмні продукти є непомірно дорогими для організацій та установ, що займаються організацією неприбуткових проектів.
- Занадто широкий профіль для застосування. Розмаїття можливостей та функцій є беззмстовним обтяжувачем для цього ПЗ, більше ніж половину з них ніколи не використовують працівники. У неприбутковій сфері ці показники ще вищі.
- Спрямованість на максимізацію прибутків від організації проекту. Програмні продукти не зосереджені на основних параметрах, що є важливими для НУО, – неприбутковість та соціальний фактор.
- Оцінка ймовірності успішності проекту у розглянутих вище продуктах загалом відсутня. Можлива лише оцінка ймовірності ризиків виконання тих чи інших видів робіт (часто це є додатковим модулем).

### **Постановка задачі інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень**

Організація неприбуткових проектів – дуже вузька і складна галузь проектного менеджменту як такого. Основними організаторами таких проектів зазвичай, як вже було зазначено раніше, є неурядові громадські організації (НУО). Їх неприбутковий статус, так само, як і неприбутковість самих проектів, ще більше ускладнюють успішне втілення запланованих проектів.

Саме на підставі цих фактів було прийняте рішення розробити інтелектуальну систему підтримки прийняття рішень у галузі організації неприбуткових проектів, а саме таку систему, що зможе допомогти визначити, чи буде запланований проект успішним, і на які організаційні аспекти треба буде звернути увагу у кожному конкретному випадку. Ця система оцінює вірогідність успішності майбутнього проекту на підставі початкових даних, які мають організатори майбутнього проекту, а також надає консультації та поради щодо вдосконалення організації проекту у разі, коли ймовірність успішності проекту є низькою.

Тобто основною метою розроблення системи є забезпечення керівників проектів підтримкою під час прийняття вагомих рішень стосовно організації того чи іншого неприбуткового проекту та надання релевантних консультацій залежно від потреб кожного конкретного проекту.

Система виконує такі завдання, як аналіз параметрів нового запланованого проекту згідно з базовими вимогами неприбутковості та успішності, визначення ймовірності успішності проекту та надання консультацій користувачам (організаторам) щодо можливостей покращання проекту та підвищення ймовірності його успіху.

Розглянемо основні задачі, які розв’язує інтелектуальна система підтримки прийняття рішень, детальніше. Сформуємо перелік задач:

1. Аналіз параметрів неприбуткового проекту на відповідність базовим вимогам неприбутковості та успішності.
2. Розрахунок ймовірності успішності проекту.
3. Пошук найближчого успішного проекту та встановлення параметрів, що найбільше відрізняються.

Розглянемо детальніше першу задачу. До базових вимог неприбутковості та успішності належать такі правила:

- Грошовий залишок після організації будь-якого неприбуткового проекту повинен становити не більше від десяти відсотків (зазвичай саме стільки у проекті відводиться на непередбачувані витрати). Інакше проект не є неприбутковим.

- Визначення верхнього та нижнього порогів кількості учасників відносно кількості організаторів проекту.
- Визначення максимального та мінімального часу для освоєння запланованого бюджету.

Останні два правила визначаються за допомогою аналізу успішних проектів із загальної бази проектів, що закладена до системи.

Якщо запланований проект не задовольняє такі базові вимоги, користувачу буде надано консультації стосовно можливостей покращання ситуації.

Розраховують ймовірність успішності проекту також на основі загальної бази даних проектів.

Загальна база даних неприбуткових проектів – це база реальних неприбуткових проектів, що вже були організовані НУО або іншими установами, мають всі такі самі основні параметри, як і новий проект, що задається системі, а також додатково до цих параметрів – евристично досліджену оцінку успішності цих проектів. Оцінку визначають, досліджуючи загальну думку учасників щодо реалізованого неприбуткового проекту. Проект умовно вважається успішним, якщо кількість позитивних відгуків від учасників стосовно нього дорівнює або перевищує 65 % від загальної кількості учасників цього проекту.

Також незалежно від значення ймовірності успішності проекту система шукає в базі найсхожіший на нього успішний проект та пропонує можливі варіанти покращання поточного проекту.

Отже, систему підтримки прийняття рішень доцільно застосовувати у галузі соціальних програм та “третього сектора”, тобто неприбуткових громадських організацій, фондів та ініціативних соцгруп або будь-яких інших установ, що в якийсь період часу реалізують у своїй діяльності неприбуткові проекти.

У процесі функціонування системи основними для розв’язання є чотири задачі, а саме задача *Визначення правил та вимог* для аналізу майбутнього проекту на відповідність базовим вимогам, задача вже безпосередньої *Перевірки нового проекту на відповідність до правил та вимог*, що були визначені у попередній задачі, задача *Розрахунку ймовірності успішності проекту* на підставі параметрів та результатів успішності проектів, що вже відбулися та закладені у *Базу завершених проектів*, та задача *Вибору та надання консультацій щодо проекту*, зважаючи на ті параметри проекту, що потрапляють під відповідні ризики.

Вхідними даними для системи є вісім параметрів нового неприбуткового проекту, що є найважливішими величинами, що характеризують його:

*Бюджет проекту* – кошторис грошових видатків проекту. Задається у гривнях.

*Фінансові надходження* – реально зібрані кошти на реалізацію того чи іншого неприбуткового проекту, що їх прогнозують організатори. Задається в гривнях.

*Кількість організаторів проекту* – кількість людей, що стабільно працюють над проектом.

*Прогнозована кількість учасників проекту* – кількість людей, що мають взяти участь у проекті.

*Період підготовки проекту* – час, необхідний організаторам для реалізації проекту. Задається в днях.

*Період проведення PR-кампанії* – час, що необхідний для проведення PR-кампанії перед проектом. Задається у днях.

*Кількість розгалужень логістики проекту* – кількість принципових напрямів логістики, що необхідні для опрацювання під час підготовки проекту.

*Тривалість проекту* – час, протягом якого реалізується сам проект. Задається в днях.

Вихідними даними розробленої системи є формалізована інформація, що має на меті полегшувати процес прийняття рішення для особи, що його приймає (ОПР). Серед вихідних даних такі:

– числове значення грошового залишку від майбутньої організації проекту та відповідна текстова консультація щодо покращання ситуації у разі, якщо залишок перевищує дозволений;

– числове значення відношення запланованої кількості учасників до кількості організаторів та відповідна текстова консультація щодо покращання ситуації у разі, якщо кількість організаторів є недостатньо або надмірно великою;

– числове значення відношення запланованого часу на підготовку та організацію проекту до кількості прогнозованих бюджетних коштів, які доведеться освоювати, та відповідна текстова консультація щодо покращання ситуації у разі, якщо часу для освоєння коштів є забагато або недостатньо;

– числове значення ймовірності успішності проекту та текстове пояснення до нього;

– назва та основні параметри найсхожішого на заданий неприбуткового проекту та всі різниці між параметрами двох проектів, відсортовані за значущістю.

У загальному вигляді інтелектуальну систему прийняття рішень можна зобразити так, як показано на рис. 1.

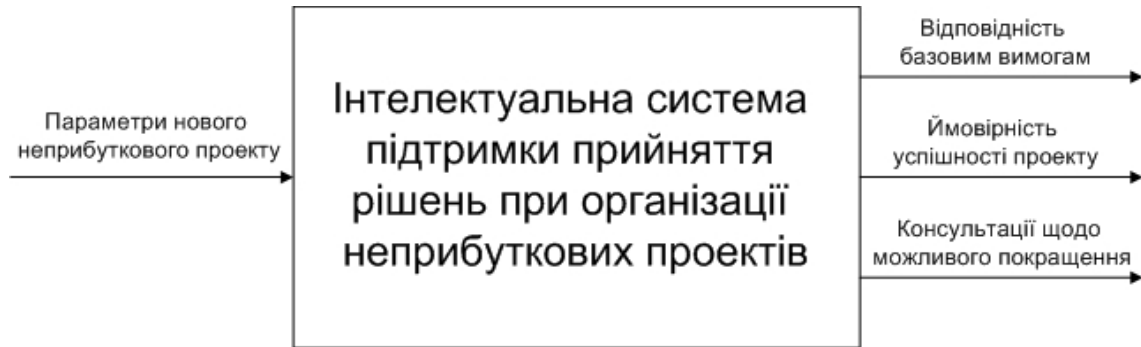


Рис. 1. Загальна модель проектової інтелектуальної системи

### Дерево цілей інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень при управлінні неприбутковими проектами

Для побудови будь-якої інтелектуальної системи завжди необхідно побудувати дерево цілей. Таке дерево зображене на рис. 2.



Рис. 2. Дерево цілей інтелектуальної системи

Як бачимо, основною метою є розроблення самої інтелектуальної системи. Але досягнення цієї цілі неможливе без досягнення тих підцілей, що зображені у наступних рівнях дерева. Отож, основна ціль із створення інтелектуальної системи поділяється на такі дві підцілі, як аналіз предметної галузі та вибір програмного рішення.

*Аналіз предметної галузі* – це ціль, для реалізації якої необхідно було виконати системний аналіз тієї предметної галузі, якої стосується майбутня система, проаналізувати всі характерні особливості, визначити мету системи та її призначення, майбутні вхідні та вихідні дані. Для реалізації цієї цілі треба прослідкувати ще до трьох підцілей: *створення моделі системи, визначення методів розв'язання задач та визначення бази знань*.

При *створенні моделі системи* за допомогою спеціальних нотацій та засобів розроблення моделей інтелектуальних систем створюється формальна модель майбутньої системи, що застосована під час її реалізації. *Визначення бази знань* необхідне для аналізу, збирання та впровадження до системи знань предметної галузі, якими керується система. При *визначенні методів розв'язання задач* відбувається пошук, аналіз та вибір найприйнятніших для розв'язання задач математичних та алгоритмічних методів.

Іншою підціллю загальної цілі розроблення інтелектуальної системи став *вибір програмного рішення*. Для реалізації цієї цілі необхідно було проаналізувати та вибрати такі програмні та технічні засоби для розроблення нашої системи, що максимально задовольнили б потреби з урахуванням виконаного нами аналізу предметної галузі.

*Вибір засобів розробки* звівся до вибору найкращої з погляду розробника мови (або мов) програмування, середовища розробки для цих мовних пакетів, та *засобів створення та управління базами даних*.

*Вибір середовища використання системи* має дві основні складові – це визначення видів, типів та необхідних параметрів *програмного забезпечення та технічного забезпечення*, що мало б використовуватись для коректної роботи реалізованої інтелектуальної системи.

### **Призначення інтелектуальної системи**

Отже, оскільки досліджуваною областю є підтримка прийняття рішень при організації неприбуткових проєктів, то серед множини зовнішніх сутностей проєктованої системи можна виділити організаторів, які формують завдання та цілі проєкту, відповідно визначають значення основних параметрів проєкту, та адміністратора, який забезпечує інформацію про наявні проєкти такого роду та успішність їх реалізації.

На контекстній діаграмі, поданій на рис. 3, зображено головні потоки даних, які надходять в систему і виходять з неї. Опишемо потоки даних та процеси, якими оперує наша система на першому рівні декомпозиції. Насамперед необхідно визначити, на які процеси розпадатиметься головний процес. Враховуючи специфіку завдання роботи, визначимо такі процеси:

1. Процес формування вимог та правил.
2. Процес перевірки відповідності проєкту до сформованих вимог та правил.
3. Процес визначення ймовірності успіху проєкту.
4. Процес надання консультацій.

Інформація, якою оперуватиме система прийняття рішень в умовах невизначеності, міститься в певних сховищах даних. Під час проєктування було вирішено використовувати чотири сховища, зокрема:

1. База завершених проєктів.
2. Інформація про новий проєкт.
3. База консультацій.
4. База правил та вимог.

Потоки даних, які отримані системою із верхнього рівня її декомпозиції, заносяться в сховища даних. Зокрема, *Плановані параметри проєкту* записуються в сховище *Інформація про новий проєкт*. *Інформація щодо проєктів, що вже відбулись*, отримана від інших організацій, експертів, держслужбовців тощо, зберігається у сховищі *База завершених проєктів*. Дані про

можливі варіанти консультацій, що залежать від тих чи інших параметрів проекту та визначаються експертами предметної галузі, заносяться в сховище *База консультацій*.

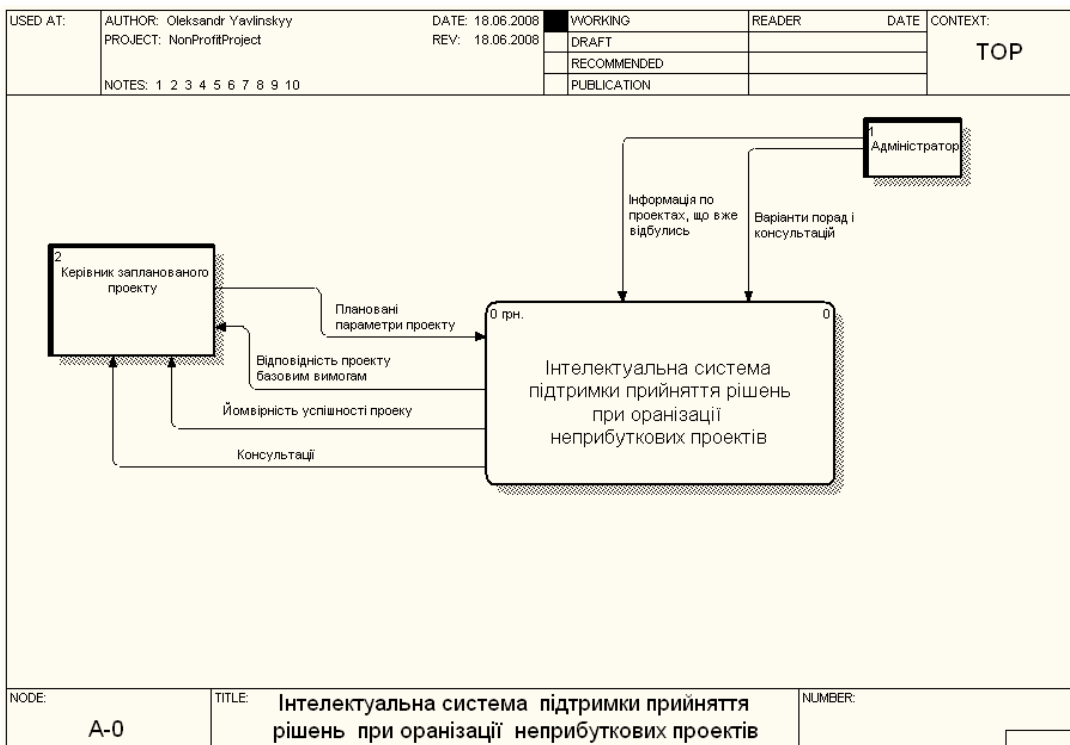


Рис. 3. Контекстна діаграма системи підтримки прийняття рішень при управлінні неприбутковими проектами

Між визначеними процесами напряму та сховищами даних і власне процесами відбувається постійний асинхронний обмін даними. Розглянемо послідовно основні вхідні і вихідні потоки для кожного процесу.

Результатом виконання процесу *Визначення правил та вимог* є список вимог для успішного виконання проекту, що формуються на основі даних, закладених у сховище *База закінчених проектів* у результаті вибору та аналізу лише тих з них, що були успішними. Створені правила та вимоги зберігаються у сховищі *База правил та вимог*.

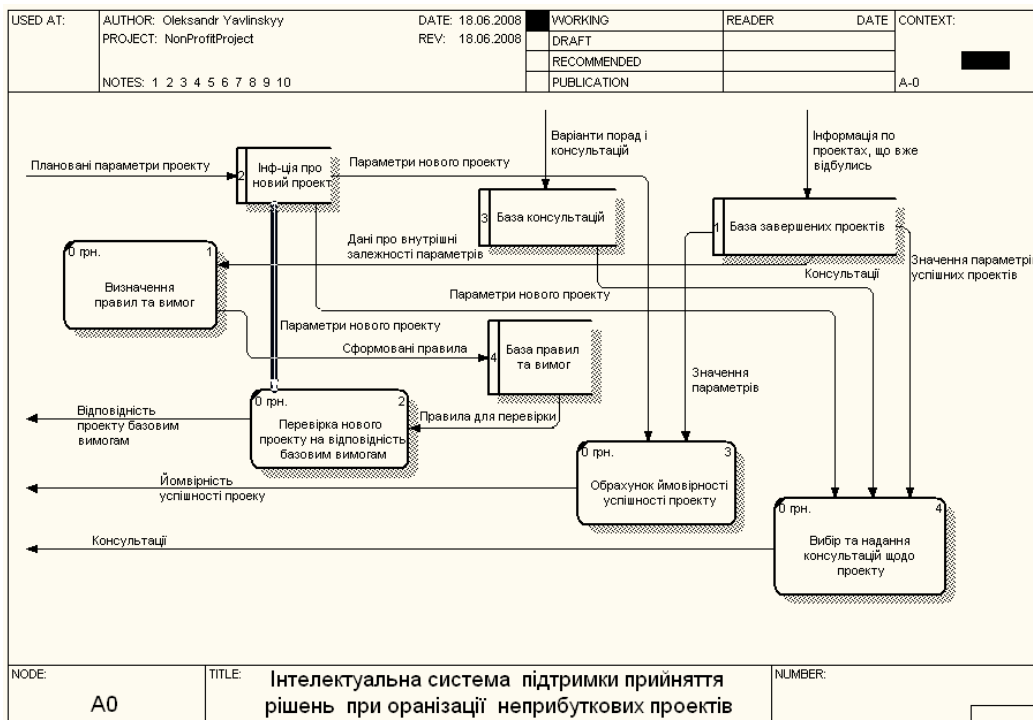
Вхідними потоками для процесу *Перевірка нового проекту на відповідність базовим вимогам* є параметри нового проекту та правила для перевірки. Результатом виконання цього процесу є результуюча оцінка, чи задовольняє новий проект базові вимоги організації будь-якого неприбуткового проекту.

Для виконання *Розрахунку ймовірності успішності проекту* вхідними даними є значення параметрів нового проекту зі сховища *Інформація про новий проект* та значення параметрів всіх проектів, що вже були реалізовані, зі сховища *База завершених проектів*. Вихідними ж даними для *Розрахунку ймовірності* є числове значення ймовірності успішності нового проекту.

Під час виконання процесу *Вибір та надання консультацій щодо проекту* вхідними даними будуть значення параметрів всіх успішних проектів зі сховища *База завершених проектів*, необхідні консультації з *Бази консультацій* та параметри нового проекту зі сховища *Інформація про новий проект*. На виході процесу отримуємо підбірку порад та консультацій, що необхідні для збільшення успішності нового проекту.

Весь вищеописаний процес обміну даними інтелектуальної системи прийняття рішень при організації неприбуткових проектів зображено у вигляді діаграми потоків даних (DFD) на рис. 4.





*Рис. 4. DFD діаграма системи підтримки прийняття рішень при управлінні неприбутковими проектами першого рівня декомпозиції*

### Байєсівські методи та метод ядрового згладжування

Байєсівські методи належать до ймовірнісних методів прогнозування. Вони залучають до розгляду ймовірнісні характеристики класів, й урахування такої інформації дає змогу істотно підвищити якість прогнозування.

Основну ідею байєсівських методів можна неформально охарактеризувати так. Нехай відомі ймовірнісні характеристики того, що об'єкт, який належить до певного класу, описується деяким вектором ознак. Якщо ми отримали вектор ознак, який потрібно розпізнати, ми можемо на основі правил Байєса розрахувати апостеріорні ймовірності належності цього вектора до кожного класу. Далі система розпізнавання зараховує об'єкт до того класу, для якого ця апостеріорна ймовірність найбільша (інакше кажучи – до найвірогіднішого класу).

Дамо формалізованіший опис байєсівських методів.

Нехай ми маємо  $m$  класів  $K_1, \dots, K_m$ . З кожним класом пов'язана апіорна ймовірність  $P(K_i)$  – ймовірність появи об'єкта  $i$ -го класу. Нагадаємо, що ймовірності тісно пов'язані з частотою, і тому ймовірності  $P(K_i)$ , по суті, характеризують, наскільки часто зустрічаються об'єкти відповідних класів.

Варто зазначити, що у нашому випадку існують лише два класи – це клас успішних та клас неуспішних проектів.

Основною ймовірнісною характеристикою, яка характеризує розподіл векторів певного класу в просторі ознак, є умовна густина ймовірності. Дамо необхідні визначення.

Якщо ймовірність цілочислової змінної  $x$  потрапляє в проміжок  $(x, x + \delta x)$  функції  $F(x)\delta x$  для  $\delta x \rightarrow 0$ , то  $F(x)$  називають густиною ймовірності.

Умовною густиною ймовірності  $F(X_i / K_j)$  називається густина вектора  $X_i$  за умови, що він належить до класу  $K_j$ .

Для ґрунтовнішого ознайомлення з відповідним математичним апаратом рекомендується звернутися до будь-якого підручника з теорії ймовірностей [1].

Тепер можна описати байєсівське вирішувальне правило.

Нехай ми маємо вектор  $Y$ . Для класифікації цього вектора необхідно для кожного класу розрахувати величини  $P(K_j | Y)$ :

$$p(K_j | Y) = \frac{P(K_j)F(Y | K_j)}{F(Y)},$$

які являють собою апостеріорні ймовірності належності цього вектора ознак для кожного класу. Треба вибрати той клас, для якого ця ймовірність максимальна або задовольняє відповідну умову.

У чисельнику фігурує величина  $P(K)$ , яка є спільною для всіх класів і яку можна скоротити. Остаточно маємо таке вирішувальне правило: вектор  $Y$  слід зарахувати до того класу  $K$ , для якого величина  $P(K_j | Y)$  є максимальною або такою, що задовольняє відповідну задану умову.

Отже, ми маємо два класи:

$S$  – клас успішних проектів;

$U$  – клас неуспішних проектів.

Тому байєсівське вирішувальне правило матиме вигляд:

$$p(S|Y) = \frac{P(S)F(Y/S)}{F(Y)} = \frac{P(S)F(Y/S)}{P(S)F(Y/S) + P(U)F(Y/U)},$$

де  $p(S|Y)$  – апостеріорна умовна ймовірність належності вектора  $Y$  (нового проекту) до класу  $S$  (тобто до класу успішних проектів);  $P(S)$  та  $P(U)$  – апіорні ймовірності успішності та неуспішності. Оскільки такими даними ми не володіємо, ці ймовірності є рівні та дорівнюють 0,5;  $F(Y|S)$  – функція густини умовної ймовірності для вектора  $Y$  (нового проекту), що він належить до класу  $S$  (тобто до класу успішних проектів);  $F(Y|U)$  – функція густини умовної ймовірності для вектора  $Y$  (нового проекту), що він належить до класу  $U$  (тобто до класу неуспішних проектів).

Наступним нашим завданням є підрахунок функції умовної густини ймовірності.

Існує велика кількість способів розрахувати функцію, що визначає густину ймовірності для якогось конкретного набору даних. Взагалі існують два типи функцій: параметричні та непараметричні.

Параметрична функція визначає глобальну модель поведінки густини ймовірності, за якою функціонують модельовані дані. Наприклад, функція Гаусса, розподіл Пуассона або експоненціальна функція. Недоліком цих методів для малої кількості даних з великою кількістю параметрів є те, що вони часто доволі неточно моделюють справжню функцію густини ймовірності, оскільки кількість можливих комбінацій параметрів перевищує кількість доступних у такому випадку даних. Саме у таких випадках використовуються непараметричні методи апроксимації функцій густини ймовірності. Формалізований американським вченим Парзенном у 1963 році “метод ядрового згладжування” (kernel smoothing method) передбачає суперпозицію ядра (також відома як базисна функція) на кожен вектор у вибірці даних, функцію густини ймовірності яких ми й моделюємо [4].

Під час розрахунку густини ймовірності в новій точці всі базисні функції в цій точці додаються

$$F(\mathbf{y} | S) = \frac{1}{|S|} * \sum_{x \in S} k(\mathbf{x}, \mathbf{y}),$$

де  $|S|$  – загальна кількість усіх проектів, які належать до класу успішних у базі проектів;  $x \in S$  – умова для підсумовування базисних функцій, яка передбачає, що усі вектори  $x$ , які ми додаємо, належать до класу  $S$ ;  $k(x, y)$  – базисна функція (ядро).

Такий самий метод використовуємо для розрахунку функції густини умовної ймовірності  $F(Y|U)$ .

Зазвичай для розрахунку базисної функції використовуються функції Гаусса [3] або Лапласа [2]. В нашому випадку для ядра ми будемо використовувати функцію Лапласа, оскільки вона є менш жорсткою до значень, розміщених порівняно далеко від її центру (базису), – тобто не знижує густину ймовірності до нуля так швидко, як функція Гаусса.

$$k(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = e^{-\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|}$$

де  $y_i$  –  $i$ -й параметр нового проекту;  $x_i$  –  $i$ -й параметр чергового проекту з бази проектів;  $n$  – загальна кількість параметрів.

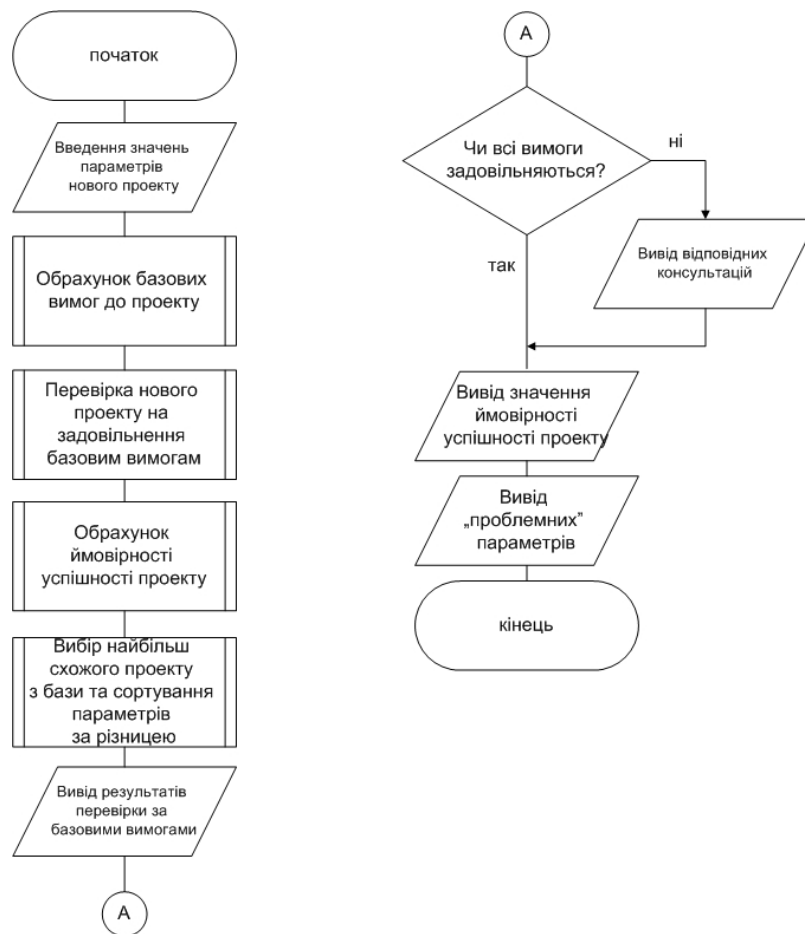


Рис. 5. Блок-схема роботи алгоритму інтелектуальної системи

### Технологія реалізації системи

Для проектування інтелектуальної системи прийняття рішень в умовах невизначеності використовується технологія об'єктно-орієнтованого програмування мовою Java, оскільки вона найкраще підходить для подання та роботи з деревом рішень. Зазначена вище простота програмування на Java є причиною того, що розробки на Java коштують дешевше від аналогічних конкурентними мовами програмування. Цьому ж сприяє і мобільність програм на Java, оскільки ліквідуються витрати, пов'язані з адаптацією програми на конкретній платформі. До того ж інтегровані програми-оболонки для розробки Java-програм коштують набагато дешевше (70–100 \$), ніж аналогічні продукти C++, Delphi (~1000 \$). А набір інструментарію для пакетної компіляції Java програм JDK (Java Development Kit) є взагалі безкоштовним. Тому платформу Java можна рекомендувати як ідеальну для створення некомерційних програмних продуктів, зокрема для галузі освіти.

Реалізована інтелектуальна система містить близько 350 рядків коду та побудована за алгоритмом, поданим у вигляді блок-схеми на рис. 5.

### **Висновки та перспективи подальшої розробки системи**

У статті досліджено способи полегшення управління неприбутковими проектами та висвітлено розроблення програмного засобу, що має на меті допомогти організаторам вирішувати проблему прийняття правильного рішення в умовах невизначеності, тобто здійснювати процес підтримки прийняття рішень.

Досліджено способи прийняття рішень при організації неприбуткових проектів, розроблено методи, які дають змогу підвищити надійність та якість отримання суб'єктивної інформації від експертів та створено систему підтримки прийняття рішень, що використовує надані їй дані.

Обґрунтована доцільність застосування для розв'язання подібних задач теорії ймовірності та методу ядрового згладжування (kernel smoothing method).

Використання таких засобів реалізації системи, як мова об'єктно-орієнтованого програмування Java, та націленість на вузьку та спеціальну групу користувачів забезпечують конкурентоспроможність розробленої інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень.

Розроблена система відповідає вхідним вимогам, але з погляду вдосконалення вона, як і будь-який результат діяльності людини, допускає можливості удосконалення. Тому для подальшого розвитку ставимо перед собою такі задачі:

- збільшення бази даних реалізованих проектів для підвищення достовірності результатів системи;
- створення інформативної бази даних щодо кожного реалізованого проекту, та надання такої інформації користувачеві в разі потреби;
- виконання глибшого аналізу ПО і врахування більшої кількості факторів та параметрів, які менш істотно, але все ж впливають на результати проекту.

Однак розроблена система підтримки прийняття рішень відповідає вимогам, які ставились до неї на самому початку, і здатна швидко та якісно допомогти керівнику прийняти важливе рішення.

1. Jaynes E.T. *Probability Theory: The Logic of Science*. – Sams, 2004. 2. Pačlík P., Novovicová J., Pudil P. and Somol P. *Road sign classification using Laplace kernel classifier*. – *Academy of Sciences of the Czech Republic*, 2003. 3. *Kernel density estimation [Електронний ресурс]*. – Вікіпедія. – Режим доступу: [http://www.en.wikipedia.org/wiki/Kernel\\_density\\_estimation](http://www.en.wikipedia.org/wiki/Kernel_density_estimation). 4. Christopher M. Bishop. *Pattern Recognition and Machine Learning*. – Springer, 2006.