Вінницький національний технічний університет

Факультет інформаційних технологій та комп’ютерної інженерії

Кафедра програмного забезпечення

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

Методи та програмні засоби вибору найкращої стратегії з розробки програмних засобів у ІТ-компанії

Виконав: студент 2-го курсу
групи 2ПІ-20м_ спеціальності
121 – Інженерія програмного забезпечення

Ковель Віталій Васильович

Керівник: к.т.н., доц. каф. ПЗ Хошаба О.М.

«____________»___________________2021 р.

Опонент: д.т.н., проф. каф. КН
Васілевський О.М.

«____________»___________________2021 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ПЗ

_____д.т.н., проф. Романюк О. Н.
(прізвище та ініціали)

«____»_______________2021 р.

Вінниця ВНТУ – 2021

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра програмного забезпечення
Рівень вищої освіти ІІ-й (магістерський)
Галузь знань 12 – Інформаційні технології
Спеціальність 121 – Інженерія програмного забезпечення
Освітньо-професійна програма – Інженерія програмного забезпечення

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ПЗ
Романюк О. Н.
« 13 » вересня 2021 р.

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ковелю Віталію Васильовичу

1. Тема роботи – методи та програмні засоби вибору найкращої стратегії з розробки програмних засобів у ІТ-компанії.

Керівник роботи: Хошаба Олександр Мирославович, к.т.н., доцент кафедри ПЗ, затверджені наказом вищого навчального закладу від « 24 » вересня 2021 р. № 277.

2. Строк подання студентом роботи
1 грудня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи: базові методи зафарбовування – моделі прийняття рішень на основі теорії ігор: використання домінантних стратегії та некооперативні ігри; особливості розробки моделей з прийняття рішень та теорії ігор: моделі рівноваги та суб'єктивної рівноваги, ієрархічних ігор; визначення гри в розгорнутій структурній формі: НМ- та конфігураційні моделі прийняття рішень; постановка задачі розробки програмного засобу на основі дерева рішень: не менш 4 рівнів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: аналіз сучасного стану методів і засобів вибору найкращої стратегії з прийняття рішень, розробка моделей вибору найкращої стратегії з прийняття рішень на основі теорії ігор, структурні особливості розробки моделей вибору найкращої стратегії у теорії ігор, розробка програмного засобу на основі дерева рішень економічна частина.

5. Перелік графічного матеріалу: структура моделі прийняття рішень за допомогою агентних технологій, агентна модель, що представлена функцією корисності, організаційна схема використання агентної технології на основі розглянутої математичної моделі, технологія управління організаційними системами для вибору найкращої стратегії, блок-схема алгоритм розв'язання контрольного завдання за допомогою лінійного програмування симплексним методом, скріншоти роботи програмно го засобу.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-4	Хошаба О. М., к.т.н., доцент кафедри ПЗ		
5	Бурєннікова Н. В., д.е.н., проф. кафедри ЕПВМ		

7. Дата видачі завдання ___14 вересня 2021 р.________________________

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної Роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сучасного стану методів і засобів вибору найкращої стратегії з прийняття рішень	15.09. 2021 - 30.09.2021	Вик.
2	Розробка моделей вибору найкращої стратегії з прийняття рішень на основі теорії ігор	01.10.2021-10.10.2021	Вик.
3	Структурні особливості розробки моеделй вибору найкращої стратегії у теорії ігор	11.10.2021-25.10.2021	Вик.
4	Розробка програмного засобу на основі дерева рішень	26.10.2021-19.11.2021	Вик.
5.	Економічна частина	20.11.2021-30.11.2021	Вик.

Студент _______ **Ковель В. В.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи ________ **Хошаба О. М.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Опонент магістерської кваліфікаційної роботи ________ **Васілевський О.М.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК 658.3.007

Ковель В.В. Методи та програмні засоби вибору найкращої стратегії з розробки програмних засобів у ІТ-компанії. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 121 – інженерія програмного забезпечення, освітня програма – інженерія програмного забезпечення. Вінниця: ВНТУ, 2021. … с.

На укр. мові. Бібліогр.: 42 назв; рис.: 9; табл.: 13.

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблено програмний засіб з рішення задачі в галузі вибору найкращої стратегії з розробки програмних продуктів у ІТ-компанії.

Під час виконання магістерської кваліфікаційної роботи проведено аналіз сучасного стану методів і засобів вибору найкращої стратегії з прийняття рішень, де були розглянуті моделі прийняття рішень на основі теорії ігор.

Подальшого розвитку дістав метод прийняття рішень в умовах нелінійних розподілених задач, який, на відміну від існуючих, придатний для проведення досліджень в галузі фінансування досліджень, що на рівні прибутків визначає також й збитки.

Створена постановка задачі розробки програмного засобу на основі дерева рішень та визначено рішення задачі розробки програмного засобу на основі дерева рішень.

Показано розв'язок поставленої задачі за допомогою алгоритму розв’язання завдання лінійного програмування симплексним методом, створено програмний засіб з контрольного прикладу рішення задачі вибору найкращої стратегії з розробки програмних продуктів у ІТ-компанії.

Ключові слова: програмний додаток, теорія ігор, дерево рішень, прийняття рішень, мова програмування Java.

ABSTRACT

Kovel V.V. Methods and software tools for choosing the best strategy for software development in an IT company. Master's degree in specialty 121 – software engineering, educational program – software engineering. Vinnytsia: VNTU, 2021

In Ukrainian language. Bibliogr .: 42 titles; fig .: 9; tab .: 13.

In the master's qualification work, a software tool was developed to solve the problem of choosing the best strategy for software development in an IT company.

During the master's qualification work the analysis of the current state of methods and means of choosing the best decision-making strategy was carried out, where models of decision-making based on game theory were considered.

The method of decision-making in the conditions of nonlinear distributed problems, which, in contrast to the existing ones, is suitable for research in the field of research funding, which also determines losses at the level of profits, has been further developed.

The statement of the problem of software development on the basis of the decision tree is created and the solution of the problem of software development on the basis of the decision tree is defined.

The solution of the problem is shown with the help of the algorithm for solving the problem of linear programming by the simplex method, the software is created from the control example of solving the problem of choosing the best strategy for software development in an IT company.

Keywords: software application, game theory, decision tree, decision making, Java programming language.

ЗМІСТ

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Рішення проблем раціонального використання сучасних і перспективних методів та засобів обробки інформації в практичній (професійної) діяльності людей має першочергове значення.

Сучасна економічна теорія і практика вимагає використання адекватних математичних методів і моделей, використання яких дозволяє отримати кількісні оцінки різних економічних показників і прийняття обґрунтованих економічних рішень. Математичний інструментарій, що застосовується в економіці є досить поширеним.

Але, в економіці іноді доводиться стикатися з ситуацією, коли при наявності багатьох учасників ринку ефективність вирішення одного з них залежить від того, які рішення прийняли іншими. Тому, вкрай важливими є побудова математичних моделей, що складається конфліктних ситуацій і розробкою методів вирішення виникаючих в цих ситуаціях завдань. Для вирішення цих питань досить ефективними є методи теорії ігор яка допомагає у вибору найкращої стратегії з розробки програмних засобів.

Моделі теорії ігор знайшли широке застосування в області економіки, в тому числі в області маркетингу. В цьому напрямку відомі спеціальні математичні методи, призначені для обґрунтування рішень в умовах ризику і невизначеності. У деяких, найбільш простих випадках ці методи дають можливість фактично знайти і вибрати оптимальне рішення. У більш складних випадках ці методи доставляють допоміжний матеріал, що дозволяє глибше розібратися в складній ситуації і оцінити кожне з можливих рішень з різних точок зору, і прийняти рішень з урахуванням його можливих наслідків. Одним з важливих умов прийняття рішень в цьому випадку є мінімізація ризику.

При вирішенні низки практичних завдань дослідження операцій доводиться аналізувати ситуації, в яких стикаються дві (або більше) ворогуючі сторони, що переслідують різні цілі, причому результат будь-якого заходу кожної зі сторін залежить від того, який спосіб дій вибере противник. Такі ситуації можна віднести до конфліктних ситуацій.

Мета та завдання дослідження:

Метою роботи є підвищення ефективності вибору найкращої стратегії з розробки програмних засобів у ІТ-компанії за рахунок використання теорії ігор.

У відповідності до поставленої мети потрібно виконати такі **завдання**:

- провести аналіз сучасного стану методів і засобів вибору найкращої стратегії з прийняття рішень;
- розглянути моделі вибору найкращої стратегії з прийняття рішень на основі теорії ігор;
- описати структурні особливості розробки моделей вибору найкращої стратегії у теорії ігор;
- виконати розробку алгоритму та впровадження програмного засобу з вибору найкращої стратегії прийняття рішень в ІТ-компанії.

Об’єктом дослідження є процеси вибору найкращої стратегії з розробки програмних засобів у ІТ-компанії.

Предметом дослідження є методи та засоби вибору найкращої стратегії з розробки програмних засобів у ІТ-компанії.

Методи дослідження. У процесі дослідження використовувались: теорія ігор, методи лінійного програмування, некооперативні ігри, моделі вибору найкращої стратегії, критерії максимізації очікуваного виграшу та мінімізація очікуваного ризику, моделі рівноваги в домінантних стратегіях, модель суб'єктивної рівноваги, модель оптимальності по Парето.

Наукова новизна одержаних результатів:

- подальшого розвитку дістав метод рівноваги в домінантних стратегіях, який, на відміну від існуючих, придатний для вибору найкращої стратегії з розробки програмних засобів у ІТ-компанії, що надає можливість приймати рішення незалежно, тобто вибирати дії, не маючи ніякої інформації і не роблячи ніяких припущень на обставини під час участі у кооперативних іграх;

- удосконалено метод «фіктивного розігрування» для реалізації рівноважних ситуацій, який полягає в тому, що гравцю дозволяється розігрувати гру багаторазово, змінюючи стратегії від туру до туру, що надає можливість підвищити ймовірність виграшу (тобто максимізує результат) та змушує інших гравців міняти свої стратегії таким чином, щоб прийти до однієї з ситуацій рівноваги;

- здобуло подальший розвиток метод суб'єктивної рівноваги, який враховує окреми випадки суб'єктивних рівноваг та відрізняється використанням вектору дій агентів, що надає можливість створити найкращу відповідь відповідного агента на певну обстановку гри.

Практична цінність отриманих результатів. Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що на основі отриманих в магістерській кваліфікаційній роботі теоретичних положень запропоновано алгоритми та розроблено програмні засоби рішення задачі вибору найкращої стратегії з розробки програмних продуктів у ІТ-компанії.

Особистий внесок здобувача. У магістерській кваліфікаційній роботі усі результати дослідження здобуті автором даної роботи самостійно. Особистий внесок здобувача. У магістерській кваліфікаційній роботі усі результати дослідження здобуті автором даної роботи самостійно. У роботі [41], опублікованій самостійно, автору належить формування постановки проблеми, мети роботи та основної частини.

Апробація матеріалів магістерської кваліфікаційної роботи. Основні положення магістерської кваліфікаційної роботи доповідалися та обговорювалися на Міжнародній науково-практичній Інтернет конференції "Електронній інформаційні ресурси: створення, використання, доступ" (Суми/Віннця, 2021).

Публікації. Основні результати досліджень опубліковано в одноосібній науковій праці у матеріалах конференції.

1 АНАЛІЗ СУЧА СНОГО СТАНУ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ВИБОРУ НАЙКРАЩОЇ СТРАТЕГІЇ З ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

1.1 Моделі прийняття рішень на основі теорії ігор

Моделі прийняття рішень на основі теорії ігор складають основу у виборі найкращої стратегії. Метою теорії ігор є вироблення рекомендацій для розумної поведінки гравців в конфліктній ситуації. Визначення «оптимальної стратегії» для кожного з них. Стратегія, оптимальна по одному показнику, необов'язково буде оптимальною за іншими. Усвідомлюючи ці обмеження і тому не дотримуючись сліпо рекомендацій, отриманих ігровими методами, можна все ж розумно використовувати математичний апарат теорії ігор для вироблення, якщо не в точності оптимальної, то, у всякому разі «прийнятною» стратегії.

Теорія ігор є математичною теорією конфліктних ситуацій, за допомогою якої можна виробити рекомендації щодо раціонального способу дій учасників конфлікту. Щоб уможливити математичний аналіз ситуації без урахування другорядних факторів, будують спрощену, схематизувати модель ситуації, яка називається грою. гра ведеться за цілком певними правилами, під якими розуміється система умов, яка регламентує можливі варіанти дій гравців; обсяг інформації кожної сторони про поведінку іншої; результат гри, до якого призводить кожна дана сукупність ходів.

Результат гри (виграш чи програш) взагалі не завжди має кількісне вираження, але зазвичай можна, хоча б умовно, висловити його числовим значенням.

Хід - вибір одного з передбачених правилами гри дій і його здійснення. Ходи поділяються на особисті і випадкові. Особистим ходом називається свідомий вибір гравцем одного з можливих варіантів дій і його здійснення. Випадковим ходом називається вибір з ряду можливостей, здійснюваний не рішенням гравця, а яким-небудь механізмом випадкового вибору (кидання монети, вибір карти з перетасованої колоди і т. д.). Для кожного випадкового ходу правила гри визначають розподіл ймовірностей можливих результатів. Гра може складатися тільки їх особистих або тільки з випадкових ходів, або з їх комбінації. Наступним основним поняттям теорії ігор є поняття стратегії. Стратегія - це апріорі прийнята гравцем система рішень (виду «якщо - то»), яких він дотримується під час ведення гри, яка може бути представлена у вигляді алгоритму і виконуватися автоматично.

Комп'ютерне моделювання є ефективним засобом для виборі найкращої стратегії та управлінських рішень. З безлічі варіантів рішень в кожній конкретній ситуації економіко-математичні моделі дозволяють без перебору всіх можливих варіантів знаходити при заданих умовах оптимальний, тобто найкращий варіант. Його особливості в області маркетингу визначаються завданнями і функціями цієї сфери діяльності підприємств і фірм в умовах ринкової економіки. Застосування комп'ютерів прискорює обчислювальний процес. Вони швидко роблять необхідні перетворення економічної інформації, забезпечуючи переробку величезних потоків інформації.

Впровадження нових принципів управління на основі комп’ютерного моделювання призводить до радикальних змін кількості та змісту інформації, що подається керівництву для прийняття управлінських рішень.

У моделях з прийняття рішень на основі теорії ігор розглядається організаційна система (ОС), що складається з двох учасників - центру та агента (відповідно до підходами теорії ієрархічних ігор і теорії активних систем [1] центром будемо називати гравця, що робить хід першим (тобто метагравець, що має право встановлювати правила гри для інших гравців), а агентом - гравця, що робить хід другим при відомому йому виборі першого гравця. У моделях управління соціально-економічними системами центр грає роль керуючого органу, агент - роль керованого суб'єкта, причому першочергово розподіл «ролей» може не бути фіксованим). Вони користуються властивістю активності, тобто власними уподобаннями и здатністю самостійно робити певні дії. Системи, елементи яких активні, отримали назву активних систем (АС) [1,5].

Наведемо модель прийняття рішень агентом. Для того щоб визначити, як задаються переваги агента (і центру), введемо наступний опис взаємодії агента з його обстановкою, в яку можуть входити інші агенти, керівні органи і інші об'єкти і суб'єкти.

Нехай агент здатний вибирати дії (стратегії, стани і т.д.) з безлічі A допустимих дій даного агента. Дія будемо позначати y $(y \in A)$. В результаті вибору дії $y \in A$ під впливом ситуації реалізується результат діяльності агента, який будемо позначати $z \in A_0$, де A_0 - множина можливих результатів діяльності. Можлива розбіжність дії агента і результату його діяльності через вплив ситуації - зовнішнього середовища, дій інших учасників ОС і т.д.

Зв'язок між дією агента $y \in A$ і результатом $z \in A_0$ його діяльності може мати складну природу і описуватися розподілом ймовірності, нечіткими інформаційними функціями і ін.

Будемо вважати, що агент має перевагами на множину результатів $z \in A_0$, тобто має можливість порівнювати різні результати діяльності. Уподобання агента позначимо R_{A_O}, множину можливих уподобань -R_{A_O}.

Часто уподобання з множини R_{A_O} можна параметризувати змінною r, що приймає значення з підмножини Ω дійсної осі, $\Omega \subseteq R$. Тобто кожному можливому уподобання агента $R_{A_O} \in R_{A_O}$ ставиться у взаємно однозначну відповідність значення параметра $r \in \Omega$, що має назву типом агента.

При виборі дії $y \in A$ агент керується своїми перевагами і тим, як обрана дія впливає на результат діяльності $z \in A_0$, тобто деяким законом $W_I(\cdot)$ зміни результату діяльності в залежності від дії і обставин, інформація про які відображена змінною I.

Вибір дії агентом визначається правилом індивідуального раціонального вибору $P^{W_I}\left(R_{A_0}, A, I\right) \subseteq A$, яке виділяє множину найбільш бажаних з точки зору агента дій.

1.2. Гіпотези індивідуального раціонального вибору на основі прийняття рішень

Існують гіпотези індивідуального раціонального вибору на основі прийняття рішень, які поділяються на такі категорії [2,6]:

- гіпотеза раціональної поведінки, яка полягає в тому, що агент з урахуванням всієї наявної у нього інформації вибирає дії, які призводять до найкращих результатів діяльності;
- гіпотеза детермінізму, яка полягає в тому, що агент прагне усунути з урахуванням всієї наявної у нього інформації існуючу невизначеність і приймати рішення в умовах повної інформованості (іншими словами, остаточний критерій, яким керується особа, яка приймає рішення (ОПР), не повинен містити невизначених параметрів).

Розгляд гіпотез індивідуального раціонального вибору на основі прийняття рішень, що поділяються на категорії вимагають два поняття - «використання всієї наявною інформацією» і «найкращі результати діяльності».

Почнемо розгляд з другого поняття. Існують кілька способів задання індивідуальних уподобань. Найбільш розповсюджені два з них - відносини вподобань (бінарні [3,7], метризовані [3] та ін.) і функції корисності [4,9]. Бінарне відношення визначає для пари альтернатив, яка з них є «краща», функція корисності кожної альтернативи ставить у відповідність дійсне число - корисність цієї альтернативи. Відповідно до гіпотезою раціональної поведінки агент вибирає альтернативу з множини «кращих» альтернатив. У разі функцій корисності ця множина є множиною альтернатив, на яких досягається максимум функції корисності, у разі відносин вподобань множина вибору визначається більш складним чином [4], що залежать від властивостей відносини вподобань.

Вище йшлося про «найкращу» альтернативу. Але, якщо вподобання агента визначені на множині результатів діяльності, що залежать, крім його дій, від ситуацій, то в загальному випадку не існує однозначного зв'язку між дією агента і результатом його діяльності. Тому, приймаючи рішення про обрану дії, агент повинен передбачати, до яких результатів можуть привести ті чи інші дії (тут значима та інформація, яку він має відносно ситуації) і аналізувати перевагу відповідних результатів діяльності. Процес переходу від уподобань R_{A_0} на множину A_0 до індуційованих вподобань R_A на множині A, що ґрунтується на законі $W_I(\cdot)$, називається усуненням невизначеності. У разі, коли вподобання агента початково описувалися функцією корисності, його індуцировані вподобання будуть описуватися цільовою функцією, яка кожній дії агента ставить у відповідність певне дійсне число (яке може інтерпретуватися як його «перемогу» від вибору цієї дії).

При розгляді математичних моделей прийняття рішень будемо вирізняти (підстава класифікації - об'єкти і суб'єкти, щодо яких є недостатньо інформації) об'єктивну невизначеність (неповна інформованість щодо параметрів ситуації) і суб'єктивну невизначеність (неповну поінформованість про принципи поведінки інших суб'єктів). Невизначеність щодо параметрів, що описують учасників ОС, називається внутрішньою невизначеністю, щодо зовнішніх параметрів - зовнішньою невизначеністю. Зовнішня об'єктивна невизначеність називається невизначеністю природи (або невизначеністю стану природи), внутрішня суб'єктивна невизначеність називається ігровою невизначеністю.

Нижче буде використовуватися наступна модель уподобань і інформованості агента. Нехай вподобання агента на множині можливих результатів діяльності задані його функцією корисності $v(\cdot)$, а результат діяльності $z \in A_0$ залежить від дії $y \in A$ і ситуації $\theta \in \Theta$ відомим чином: $z = w(y, \theta)$. Тоді закон $W_I(\cdot)$, визначається функцією $w(\cdot)$, що відображає структуру пасивного керованого об'єкта, і тією інформацією I, якою володіє агент на момент прийняття рішення про обрану дію.

Структура моделі прийняття рішень за допомогою агентних технологій зображена на рисунку 1.1.

Рисунок 1.1 - Структура моделі прийняття рішень агентом.

Розглянемо спочатку об'єктивну невизначеність (зовнішню чи внутрішню). Тоді суттєвою для агента є інформація щодо ситуації. В якості такої інформації (різних видів невизначеності) можуть виступати:

– безліч можливих значень ситуації $\Theta' \subseteq \Theta$. Відповідна невизначеність називається інтервальною невизначеністю і усувається використанням максимального гарантованого результату (МГР): $f(y) = v\big(w(y,\theta)\big)$, використанням гіпотези доброзичливості (ГД): $f(y) = v\big(w(y,\theta)\big)$, їх комбінацій і т.д. [5,11];

– розподіл ймовірностей *p(θ)* на множині $\Theta' \subseteq \Theta$. Відповідна невизначеність називається ймовірною невизначеністю і усувається використанням очікуваних значень (EUA - expected utility analysis): $f(y) = \int_{\theta\, \epsilon\, \Theta'} v\big(w(y,\theta)\big)p(\theta)d\theta$, можливо, з урахуванням ризику (дисперсії корисності) і моментів вищих порядків;

– функція приналежності $\mu_{\Theta'}(\theta)$ нечіткої множини $\Theta' \subseteq \Theta$. Відповідна невизначеність називається нечітко. невизначеністю і зазвичай усувається виділенням множини максимально не домінуючих дій [11].

До цих пір ми розглядали індивідуальне прийняття рішень. Розглянемо тепер ігрову (внутрішню суб'єктивну) невизначеність, в рамках якої суттєвими є припущення агента про безліч можливих значень ситуацій (дій інших агентів, які обираються ними в рамках тих чи інших неточно відомих оскільки він розглядався агенту принципи поведінки) в залежності від його дій, тобто $\Theta'=\Theta'(y)$.

Для опису колективної поведінки агентів, що входять в деяку багатоелементну ОС (що включає центр і декількох агентів), недостатньо визначити їх переваги та відповідності раціонального індивідуального вибору окремо, так як слід описати модель їх спільної поведінки. Як зазначалося вище, в разі, коли в системі є єдиний агент, гіпотеза його раціональної (індивідуальної) поведінки передбачає, що агент веде себе таким чином, щоб вибором дії максимізувати значення свої цільової функції. У разі, коли агентів кілька, необхідно враховувати їх взаємний вплив. В цьому випадку виникає гра - взаємодія гравців (учасників деякої системи), в якій корисність кожного гравця залежить як від його власних дії (стратегії), так і від дій інших гравців. Якщо, в силу гіпотези раціональної поведінки, кожен з гравців прагне вибором стратегії максимізувати свою цільову функцію, то зрозуміло, що в разі кількох гравців індивідуально раціональна стратегія кожного з них залежить від стратегій інших гравців. Набір таких раціональних стратегій називається рішенням гри (рівновагою). У теорії ігор на сьогоднішній день не існує єдиного поняття рівноваги. Введення різних припущень про раціональну поведінку гравців породжує різні концепції рівноваги, причому в одній і тій же грі рівноваги одного типу можуть існувати, а іншого - ні.

Кожному з n гравців (агентів) поставимо у відповідність функцію виграшу $v_i(y)$, де $y = (y_1, \ldots, y_n) \in A' = \prod_{i \in N} A_i$ - вектор дій всіх гравців, $N = \{1, 2, \ldots, n\}$ - множина гравців. Дотримуючись термінології теорії ігор, будемо називати дії y_i - стратегіями, а вектор y - ситуацією гри. Сукупність стратегій $y_{-i} = (y_1, \ldots, y_{i-1}, y_{i+1}, \ldots, y_n)$ називається обстановкою гри для i-го гравця.

Таким чином, раціонального колективного поводження відповідає вибір гравцями рівноважних стратегій (тип рівноваги повинен обумовлюватися в кожному конкретному випадку). Відзначимо, що будь-які концепції рівноваги повинні бути узгоджені (при $n = 1$) з введеними вище принципами індивідуального раціонального вибору.

Більш того, в теоретико-ігрових моделях можна вважати, що обстановка гри визначає стан природи для розглядуваного гравця (агента), тобто $\theta_i = y_{-i}, i \in N$, а результат діяльності буде один для всіх гравців - ситуація гри, тобто $z_i = y, i \in N$. Інформація гравця і ті припущення, які він використовує про поведінку інших гравців [7,9], відображають його принцип усунення невизначеності. Сукупність принципів усунення невизначеності, використовуваних гравцями, породжує тип рівноваги гри (принципом максимального гарантованого результату відповідає максимальна рівновага, принципу усереднення - рівновага Байеса, припущенням про фіксовану обстановку y_{-i} - рівновага Неша і т.д.) - стійкою в тому чи іншому (оговореного в кожному конкретному випадку) сенсі сукупності дій учасників системи.

Іншими словами, суб'єктивна (ігрова) невизначеність, як правило, усувається введенням тих чи інших припущень про принципи поведінки учасників системи, що дозволяють однозначно визначати обирані стратегії. Тобто усунення суб'єктивної невизначеності проводиться в два етапу - на першому етапі визначається концепція рівноваги, на другому етапі визначається принцип вибору гравцями конкретних рівнозначних стратегій в випадку, якщо останніх кілька - гіпотеза доброзичливості, принцип гарантованого результату і т.д. [9,11].

«Граничним» для всіх перерахованих вище типів і видів невизначеності є випадок детермінованої зміни результату діяльності - коли він не залежить від обстановки (або, що те ж саме, коли безліч Θ' складається з єдиного елемента), тобто коли кожній дії $y \in A$ відповідає єдиний результат діяльності $z = w(y) \in A_0$. При цьому можна відразу вважати, що переваги агента задані на множині його дій. Якщо $v(\cdot)$ - функція корисності агента, то його цільова функція $f(\cdot)$ в детермінованому випадку визначається як *f(y) = v(w(y)).*

Правило індивідуального раціонального вибору в детермінованому випадку полягає в виборі агентом дій, що доставляють максимум його цільової функції, тобто

$$P^{W_1}\left(R_{A_0}, A, I\right) = Argf(y) \, .$$

Таким чином, гіпотеза детермінізму проявляється в тому, що агент, усуваючи невизначеність (тобто використовуючи МГР, математичне очікування, відношення не домінування, припущення про поведінку інших агентів і т.д. - залежно від типу і виду невизначеності), переходить від вподобань, що залежать від невизначених факторів, до вподобань, що залежать від його власних дій - до індукованим припущень. Гіпотеза раціональної поведінки проявляється в тому, що агент вибирає дії, найкращі з точки зору його індукованих вподобань (прагне вибором дії максимізувати свою цільову функцію, в якості якої може виступати гарантована корисність, очікувана корисність і т.д.).

1.3 Сучасний стан методів управління вибором найкращої стратегії

Сучасний стан методів управління вибором найкращої стратегії переважно вивчає способи впливу на керовану систему (керований суб'єкт або об'єкт керування), що націлене на забезпечення необхідної їй поведінки (прийняття рішень агентом також може розглядатися як вироблення керуючих впливів (див. рис 1). Тому агент, який здійснює управління активним суб'єктом, повинен розглядатися як центр). Класифікація управлінь може будуватися на підставі тих компонентів керованої системи (точніше, її моделі) - агента, на які здійснюється вплив при використанні управлінь тих чи інших типів [6,12].

У рамках представлення вподобань агента в термінах функції корисності, модель прийняття ним рішень описується наступним кортежем:

$$\psi = \{A, A_0, \Theta, v(\cdot), w(\cdot), I\},$$

тобто множинами:

– допустимих дій A,
– допустимих результатів діяльності A_0,
– можливих значень ситуацій (невизначеності) Θ;
– функціями:
– корисності $v(\cdot)$ і «технології» $w(\cdot)$ між діями,
– обстановкою і результатом діяльності;
– інформацією I, якою володіє агент на момент прийняття рішень.

Будемо вважати, що закон $w(\cdot)$ відомий всім учасникам ОС і не може бути змінений. Змістовно це припущення відповідає фіксованої технології діяльності агента (або фіксованій технології функціонування керованого агентом об'єкта) і не є критичним, так як практично будь-яка зміна зв'язку між дією і результатом може бути відображено залежністю цього зв'язку від ситуації.

Також без обмеження загальності можна вважати, що множина ситуацій Θ відомо всім учасникам ОС і фіксована (для виконання цього припущення завжди можна вибрати цю множину достатньо широкою, обмежуючи в кожному конкретному випадку можливі значення ситуацій наявної у агента інформації).

Відповідно до наведеного вище визначенням, управління - це вплив на керовану систему. Так як керована система (точніше, керований суб'єкт - агент) описується кортежем ψ, то зовнішній вплив в загальному випадку може бути направлено на кожен з елементів цього кортежу. Виділимо три групи змінних (елементів кортежу ψ, які можуть змінюватися) - допустимі множини A і A_0, функція корисності $v(\cdot)$ і інформація I . Цим трьом групам змінних відповідають три типи управлінь (підстава класифікації - група змінних, що описують модель прийняття рішень, на зміну яких направлено управління) (рис.1.2):

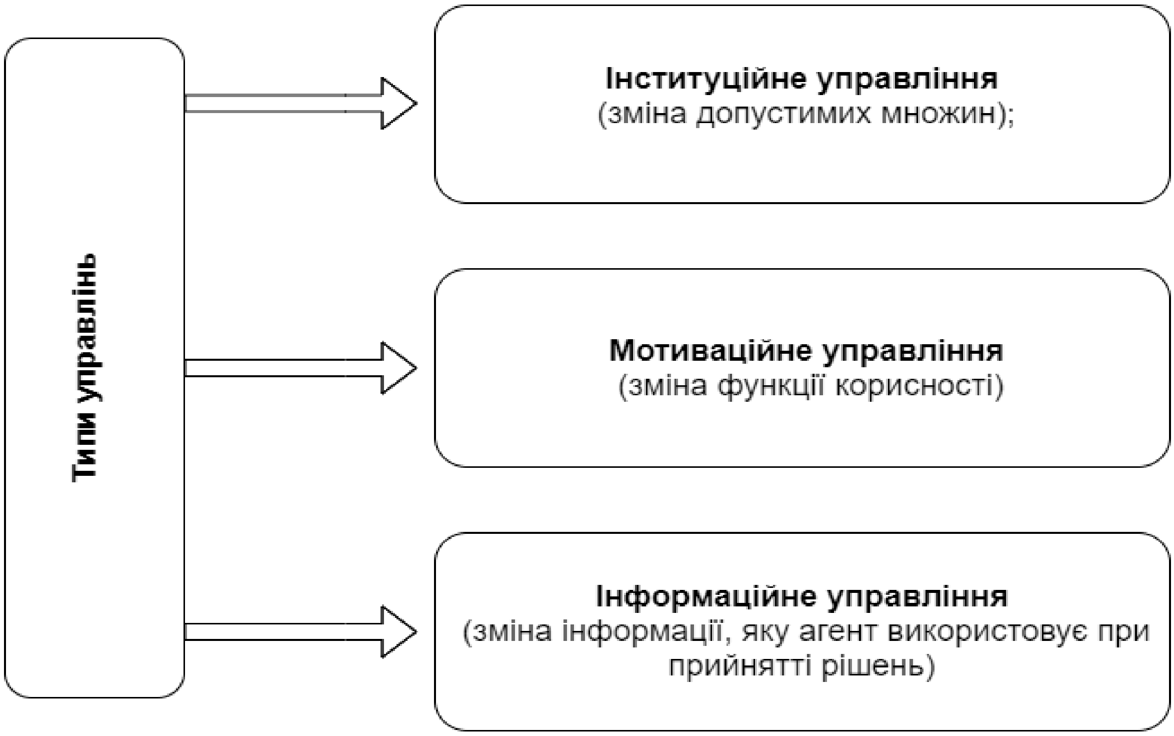


Рисунок 1.2 – Три типи управлінь

Інституційне управління, яке позначимо $u_A \in U_A$, є найбільш жорстким і полягає в тому, що центр ціле направлено обмежує множини можливих дій і результатів діяльності агента. Таке обмеження може здійснюватися явними і неявними впливами - правовими актами, морально-етичними нормами і т.д. Досить яскраво інституційне управління проявляється в моделях управління багатоелементний вплив на організаційні системи, в яких центр може забороняти або дозволяти спільний вибір агентами певних комбінацій дій (приклади - виробничі ланцюжки, управління проектами [9] та інше) або досягнення певних результатів спільної діяльності (приклади - агрегування інформації в системах управління, управління багаторівневими системами [11,13] та інше).

Мотиваційне управління, яке позначимо $u_v \in U_v$, є більш «м'яким», ніж інституційне, і полягає в цілеспрямованій зміні функції корисності агента. Така зміна може здійснюватися введенням системи штрафів і / або заохочень за вибір тих чи інших дій і / або досягнень певних результатів діяльності. Широкий клас прикладів моделей мотиваційного управління складають задачі планування і стимулювання [7,13]. У випадку, наприклад, задачі стимулювання, мотиваційне управління полягає в безпосередній винагороди агента за вибір певних дій.

Найбільш «м'яким» (непрямим), в порівнянні з інституційним і мотиваційним, і, в той же час, найменш досліджених (з точки зору формальних моделей) є інформаційне управління. Відповідно до введеної в [13] класифікацію, окремими випадками інформаційного управління є:

– рефлексивне управління, при якому центр впливає на уявлення агента про параметри інших учасників ОС («передає йому підстави для прийняття рішень» [9]);

– активний прогноз, при якому центр повідомляє агентам інформацію про майбутні результати (здійснює прогноз) їх діяльності;

– інформаційне регулювання [13], при якому центр повідомляє агентам інформацію про зовнішню обстановку, впливаючи тим самим на їх рівноважні стратегії.

Докладний аналіз такого ефекту інформаційного регулювання як маніпулювання свідомістю мас, в тому числі за допомогою ЗМІ, проведено в [11,15].

Відповідно до цього вище визначенням, управління - вплив на керовану систему, націлене на забезпечення необхідної її поведінки. Введені типи управлінь характеризують об'єкти впливу (компоненти керованої системи, на які спрямовано керуючий вплив), тому слід розуміти під необхідною поведінкою керованої системи, і, в першу чергу - «необхідною» з чиєї точки зору.

Дослідник операцій, що займається побудовою і аналізом моделі, як правило, знаходиться на позиціях оперує (керуючої) сторони, тобто центру

[14]. Відповідно, необхідно описати переваги центру і розглянути модель прийняття ним рішень по вибору управлінь.

Модель прийняття рішень центром в цілому аналогічна розглянутої вище моделі прийняття рішень агентом і описується кортежем

$$\psi_0 = \{U_A, U_v, U_I, A_0, \Theta, w(\cdot), v_0(\cdot), I_0\}.$$

Розглянемо елементи моделі (рис 3).

«Діями» центру (обраними ним стратегіями) є управління $u_A \in U_A$, $u_v \in U_v$, $u_I \in U_I$. Позначимо $u = (u_A, u_v, u_I) \in U = U_A \cdot U_v \cdot U_I$ - вектор управлінь.

У більшості моделей управління організаційними системами вважається, що єдина роль центру полягає в здійсненні управління, тобто у нього відсутній власний (неопосередковане агентом) результат діяльності, тому результатом діяльності центру зазвичай вважають результат діяльності агента.

Таким чином, структура системи управління агентом має вигляд, наведений на рис. 1.3.

Так як переваги центру $v_0(\cdot)$ визначено, в тому числі, на множині A_0 можливих результатів діяльності агента, а останні залежать від дій агента і ситуації, то якісно управління полягає в спонуканні центром агента до вибору певних дій. Ситуація центру (і та інформація про ситуацію, якої володіє центр), природно, може відрізнятися від ситуації агента. Більш того, поза даної моделі управління (але легко вписаної в неї) залишається неповна інформованість центру про агента (наприклад, про його тип, правила усунення невизначеності і прийняття рішень і т.д.). Неповна інформованість центру про тип агента враховується в механізмах управління з повідомленням інформації, які повністю вкладаються в розглянуту модель управління. Неповна інформованість центру про принципи прийняття рішень агентом на сьогоднішній день досліджена недостатньо повно [18]. Розглянемо, які дії потрібно центру спонукати обирати агента.

Уподобання центру $v_0(\cdot)$, визначені на множині $A_0 \times U$, з урахуванням наявної у нього інформації I_0 індукують (усунення невизначеності центром проводиться за тією ж схемою, яка описана вище для агента) на множині $A \times U$ вподобання (цільову функцію центру) $f_0(\cdot)$.

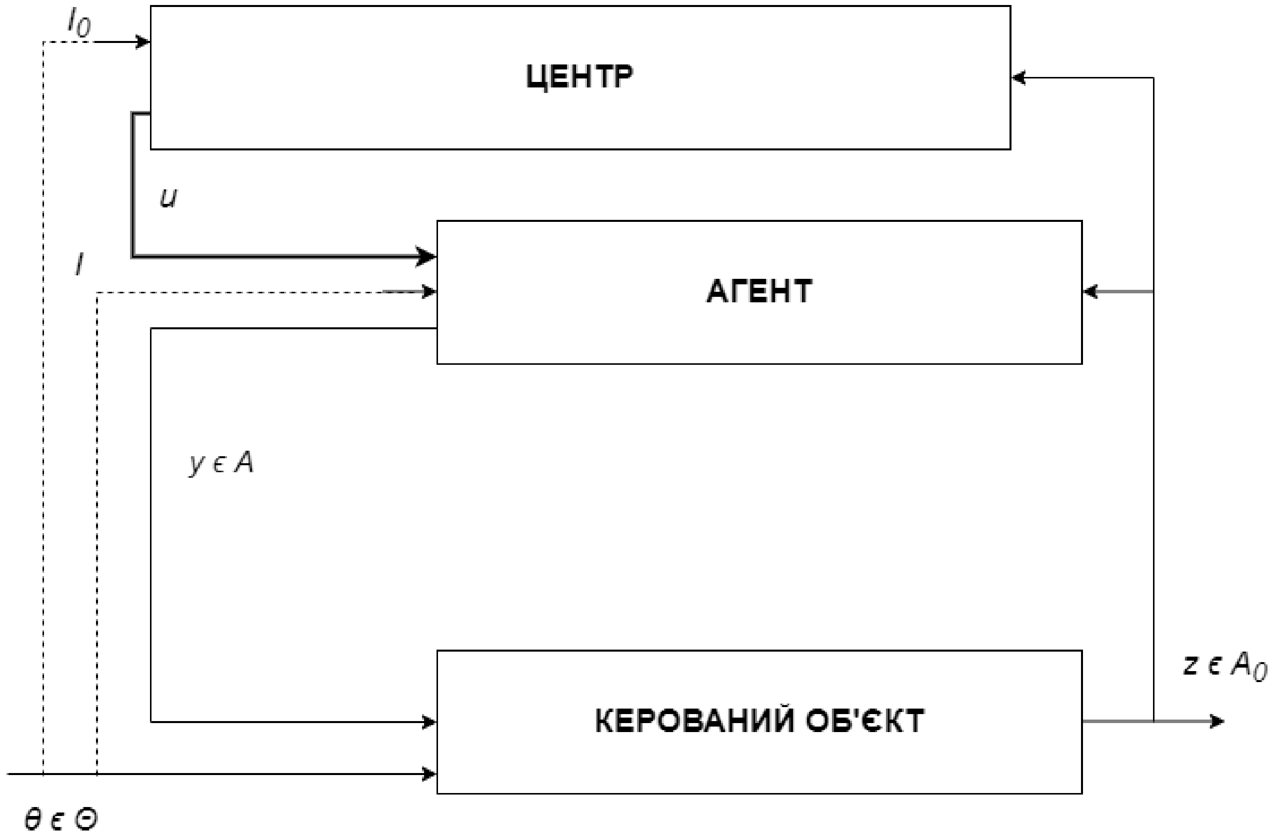


Рисунок 1.3 - Структура системи управління.

Раціональний вибір $P(\cdot)$, агента залежить від управляючих впливів $u(\cdot) \in U$, використовуваних центром, тобто множина раціонального вибору агента є

$$P(u) = P^{W_1}\left(R_{A_0(u_A)}(u_v), A(u_A), I(u_I)\right) \subseteq A.$$

Отже, центр може передбачити, що, якщо він використовує певне управління $u \in U$, то агент вибирає одну з дій з множини $P(u) \subseteq A$. Якщо ця множина містить більше одного елемента, то у центру залишається невизначеність щодо вибору агента, яка може усунутися одним з описаних вище для інтервальної невизначеності методів. Будемо використовувати далі гіпотезу доброзичливості (або принцип оптимістичних оцінок), відповідно до якої значення цільової функції центру при використанні управління $u \in U$ рівне

$K(u) = f_0(y, u)$. Змістовно гіпотеза доброзичливості означає, що агент вибирає з множини раціонального вибору дію, найбільш сприятливу для центра.

Величина *K(u), u ϵ U,* називається ефективністю управління. Отже, завдання управління організаційною системою формально може бути сформульована таким чином: знайти допустиме управління, що має максимальну ефективність (таке управління називається оптимальним управлінням), тобто $K(u)$.

Розглянута модель управління є базовою моделлю управління організаційними системами, так як вона дозволяє уніфіковано описувати процеси прийняття рішень учасниками організаційних систем. Дійсно, в багаторівневих системах взаємодія між учасниками різних рівнів управління може описуватися нарощуванням структур, наведених на рис. 2 і 3, по «вертикалі». Введення декількох керуючих органів (центрів) або декількох керованих суб'єктів (агентів) відповідає «горизонтальному» розширенню цих структур.

Ігрова невизначеність у прийнятті рішень відображає взаємодію суб'єктів, в результаті якого виграші (корисності і т.д.) кожного з них в загальному випадку залежать від дій всіх учасників системи. Припущення про раціональну їх поведінку, в залежності від використовуваного способу усунення ігрової невизначеності, призводить до тієї чи іншої концепції рівноваги гри. Рівновага гри керованих суб'єктів залежить від використовуваних центрами керуючих впливів, тому можна вважати, що рішення задачі управління ОС полягає в дослідженні, по-перше, рівноваги гри керуючих органів і, по-друге, - керованої рівноваги гри агентів. Залежно від рівнів ієрархії, яким належать учасники розглянутої ігрової взаємодії, можна виділяти:

– ігри між агентами;
– ігри між центрами;
– ігри між центрами і агентами.

1.4. Технології управління організаційними системами для вибору найкращої стратегії

Як зазначалося вище, теорія ігор вивчає ігрову невизначеність в прийнятті рішень. Розглянемо, на яких етапах постановки і рішення задач управління виникає ця невизначеність. Для цього опишемо технологію управління організаційними системами.

Під технологією розуміється сукупність методів, операцій, прийомів і т.д., послідовне здійснення яких забезпечує вирішення поставленого завдання. Відзначимо, що розглядається нижче технологія управління, що охоплює всі етапи, починаючи з побудови моделі ОС і закінчуючи аналізом ефективності впровадження результатів моделювання на практиці (рис. 1.4).

Перший етап – побудова теоретико-ігрової моделі - полягає у описі реальної ОС в формальних термінах, тобто в завданні цільових функцій і множин допустимих стратегій учасників системи, їх інформованості, порядку функціонування, гіпотез про поведінку і т.д. На цьому етапі істотно використовується апарат теорії ігор, в термінах яких, власне, і формується модель.

Другий етап – аналіз моделі - дослідження поведінки учасників при тих чи інших механізмах управління. Механізмом управління ОС називається сукупність правил, законів і процедур, що регламентують взаємодію її учасників. В вузькому сенсі механізм управління - сукупність правил і процедур прийняття управлінських рішень центром [14,28]. Рішення теоретико-ігрової задачі аналізу полягає в наступному: для фіксованого механізму управління визначаються стратегії агентів, які є рівнозначними при цьому управлінні.

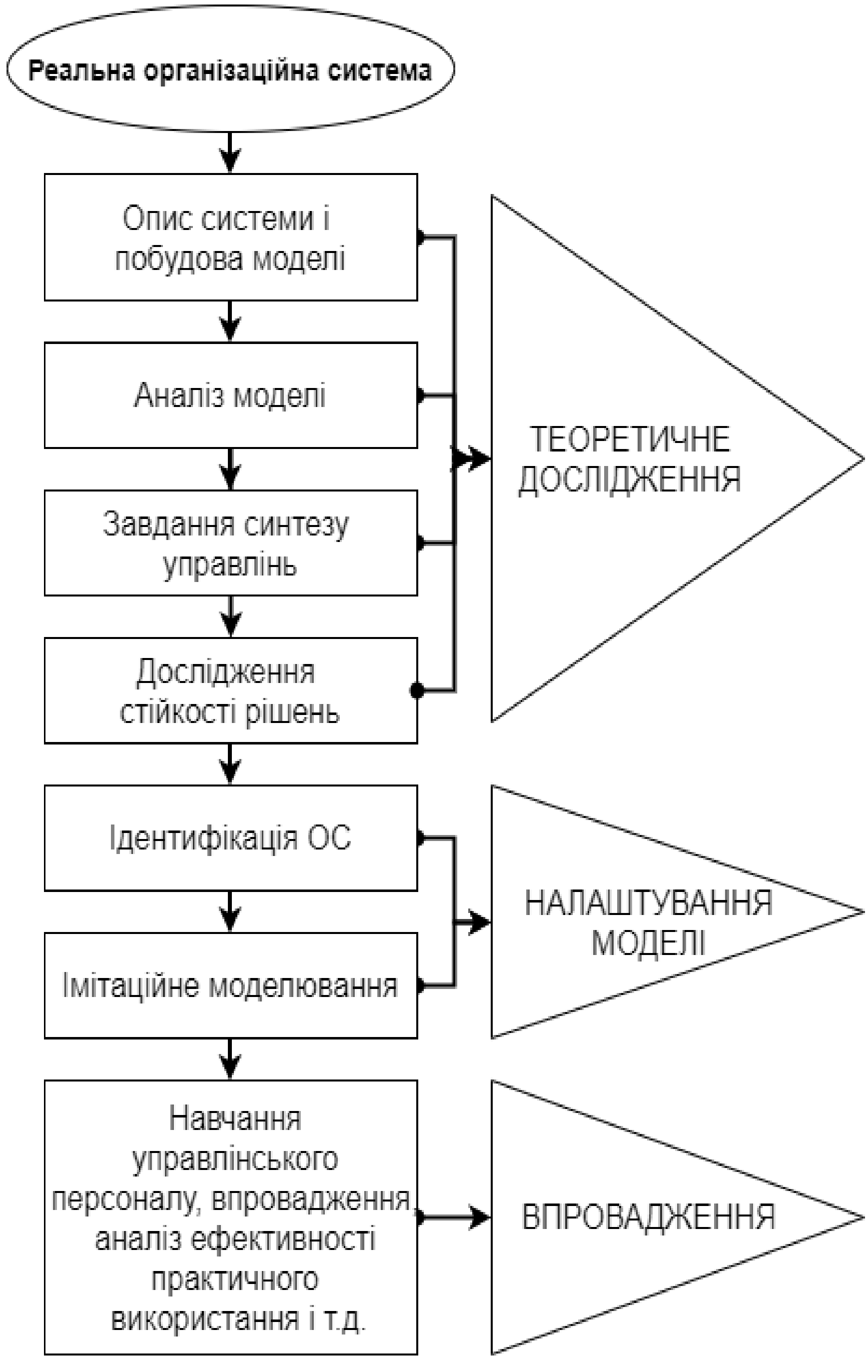


Рисунок 1.4 - Технологія управління ОС.

Вирішивши завдання аналізу, тобто знаючи поведінку керованих суб'єктів при різних управліннях, можна переходити до третього етапу - рішенню, по-перше, прямою задачею управління, тобто завдання синтезу оптимальних керуючих впливів, що полягає в пошуку допустимих управлінь, маючих максимальну ефективність, і, по-друге, зворотній задачі управління - пошуку множини допустимих управлінь, що переводять ОС в заданий стан.

Критерієм ефективності управління є значення (максимальне або гарантоване) цільовою функцією керуючого органу на множині рішень гри агентів. Слід зазначити, що, як правило, саме цей етап рішення задачі управління викликає найбільше теоретичних проблем і найбільш трудомісткий з точки зору дослідника операцій.

Маючи набір рішень задачі управління, необхідно перейти до четвертого етапу, тобто досліджувати їх стійкість. Дослідження стійкості має на увазі рішення, як мінімум, двох завдань. Перше завдання полягає у вивченні залежності оптимальних рішень від параметрів моделі, тобто є завданням аналізу стійкості рішень (коректності оптимізованої задачі, чутливості, стійкості принципів оптимальності і т.д.) в класичному розумінні. Друге завдання специфічне для математичного моделювання. Воно заключається в теоретичному дослідженні адекватності моделі реальної системи, що має на увазі вивчення ефективності рішень, оптимальних в моделі, при їх використанні в реальних ОС, які можуть в силу помилок моделювання відрізнятися від моделі. Результатом рішення задачі адекватності є узагальнене рішення завдання управління - параметричне сімейство рішень, що володіють деякою гарантованою ефективністю в певній множині реальних ОС [17,32].

Отже, пераховані вище чотири етапи полягають в загальному теоретичному вивченні моделі ОС. Для того, щоб використовувати результати теоретичного дослідження при управлінні реальною ОС, необхідно провести налаштування моделі, тобто ідентифікувати модельовану систему і провести серію імітаційних експериментів [4,17] - відповідно п'ятий і шостий етапи. Вихідними даними для ідентифікації системи служать узагальнені рішення, які обмежуються інформацією, наявною про реальну систему. Етап імітаційного моделювання в багатьох випадках необхідний по декільком причинам. По-перше, далеко не завжди вдається отримати аналітичний розв'язок задачі синтезу оптимальних управлінь і досліджувати його залежність від параметрів моделі. При цьому імітаційне моделювання може служити інструментом отримання і оцінки рішень. По-друге, імітаційне моделювання дозволяє перевірити справедливість гіпотез (в першу чергу, щодо принципів поведінки учасників системи – використаних ними процедур усунення невизначеності, правил раціонального вибору і т.д.), прийнятих при побудові і аналізі моделі, тобто дає додаткову інформацію про адекватність моделі без проведення натурного експерименту. І, нарешті, по- третє, використання ділових ігор та імітаційних моделей в навчальних цілях дозволяє управлінському персоналу освоїти і апробувати запропоновані механізми управління.

Завершальним є сьомий етап - етап впровадження, на якому проводиться навчання управлінського персоналу, впровадження в реальну ОС розроблених і досліджених на попередніх етапах механізмів управління з подальшою оцінкою ефективності їх практичного використання, корекцією моделі і т.д.

Таким чином, апарат теорії ігор використовується на всіх етапах технології управління (так як сама модель ОС є теоретико-ігровою моделлю). В явному вигляді ігрова взаємодія учасників ОС найбільш чітко проявляється на етапах побудови моделі, аналізу і синтезу управлінь, а також імітаційного моделювання.

\

2 МОДЕЛІ ВИБОРУ НАЙКРАЩОЇ СТРАТЕГІЇ З ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ ІГОР

2.1. Класифікація елементів теорії ігор

Ігри можна класифікувати: за кількістю гравців, кількості стратегій, характером взаємодії гравців, характеру виграшу, кількості ходів, станом інформації і т.д. [1, 3].

Залежно від кількості гравців розрізняють ігри двох і *n* гравців. Перші з них найбільш вивчені. Ігри трьох і більше гравців менш досліджені через що виникають принципових труднощів і технічних можливостей отримання рішення.

Залежно від числа можливих стратегій гри діляться на «кінцеві» і «нескінченні».

Гра називається кінцевої, якщо у кожного гравця є тільки кінцеве число стратегій, і нескінченною, якщо хоча б у одного з гравців є нескінченне число стратегій.

За характером взаємодії гри діляться на безкоаліційні: гравці не мають права брати участь в угодах, утворювати коаліції; коаліційні (кооперативні) - можуть вступати в коаліції.

У кооперативних іграх коаліції заздалегідь визначені. За характером виграшів ігри поділяються на: ігри з нульовою сумою (загальний капітал всіх гравців не змінюється, а перерозподіляється між гравцями; сума виграшів всіх гравців дорівнює нулю) ігри з ненульовою сумою.

По виду функцій виграшу ігри поділяються на: матричні, біматричних, безперервні, опуклі і ін.

Матрична гра - це кінцева гра двох гравців з нульовою сумою, в якій задається виграш гравця 1 у вигляді матриці (рядок матриці відповідає номеру застосовуваної стратегії гравця 1 , стовпець - номеру застосовуваної стратегії гравця на перетині рядка і стовпця матриці знаходиться виграш гравця 1, відповідний застосовуваним стратегіям).

Для матричних ігор доведено, що будь-яка з них має рішення і воно може бути легко знайдено шляхом зведення гри до задачі лінійного програмування.

Біматричних гра - це кінцева гра двох гравців з ненульовою сумою, в якій виграші кожного гравця задаються матрицями окремо для відповідного гравця (в кожній матриці рядок відповідає стратегії гравця 1, стовпець - стратегії гравця 2, на перетині рядка і стовпця в першій матриці знаходиться виграш гравця 1, в другій матриці - виграш гравця)

Безперервною вважається гра, в якій функція виграшів кожного гравця є безперервною. Доведено, що ігри цього класу мають рішення, однак не розроблено практично прийнятних методів їх знаходження.

Якщо функція виграшів є опуклою, то така гра називається опуклою. Для них розроблені прийнятні методи рішення, що складаються в знаходженні чистої оптимальної стратегії (певного числа) для одного гравця і ймовірностей застосування чистих оптимальних стратегій іншого гравця. Таке завдання вирішується порівняно легко.

Запис матричної гри у вигляді платіжної матриці. Розглянемо кінцеву гру, в якій перший гравець A має m стратегій, а другий гравець B-n стратегій. Така гра називається грою $m \times n$. Позначимо стратегії $A_1, A_2, \ldots, A_m$; *і* $B_1, B_2, \ldots, B_n$. Припустимо, що кожна сторона вибрала певну стратегію: A_i або B_j. Якщо гра складається тільки з особистих ходів, то вибір стратегій однозначно визначає результат гри - виграш однієї зі сторін a_{ij}. Якщо гра містить крім особистих випадкові ходи, то виграш при парі стратегій A_i *і* B є випадковою величиною, що залежить від результатів усіх випадкових ходів. В цьому випадку природної оцінкою очікуваного виграшу є математичне очікування випадкового виграшу, яке також позначається за a_{ij}.

Припустимо, що нам відомі значення a_{ij} при кожній парі стратегій. Ці значення можна записати у вигляді прямокутної таблиці (матриці), рядки якої відповідають стратегіям A_i, а стовпці - стратегіям B_j.

Тоді, в загальному вигляді матрична гра може бути записана наступної платіжної матрицею:

Таблиця 2.1 - Загальний вигляд платіжної матриці матричної гри

	B_1	B_2	...	B_n
A_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}
A_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}
...	...	...	...	...
A_m	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mn}

де A_i - назви стратегій гравця 1, B_j - назви стратегій гравця 2, a_{ij} - значення виграшів гравця 1 при виборі їм i-й стратегії, а гравцем 2 - j-й стратегії. Оскільки дана гра є грою з нульовою сумою, значення виграшу для гравця 2 є величиною, протилежний за знаком значення виграшу гравця 1.

Метою учасників будь-матричної гри є вибір найбільш вигідних стратегій, що доставляють гравцеві A максимальний виграш, а гравцеві B мінімальний програш. Найкращим принципом вибору стратегій прийнято вважати принцип розумності, при якому кожен гравець припускає, що його противник не дурніші. В результаті цього рекомендується в якості найкращої стратегії вибрати ту, яка забезпечує найбільший гарантований виграш, що не залежить від дій супротивника і який противник ніяк не може зменшити. Елементи ризику і помилки гравців до уваги не приймаються. Стратегія гравця A називається оптимальною, якщо при її застосуванні виграш гравця A не зменшується, якими б стратегіями не користувався гравець B. Оптимальною для гравця B є стратегія, при якій програш гравця B не збільшується, якими б стратегіями не користувався гравець A.. Кожен з гравців прагне максимізувати свій виграш з урахуванням поведінки протидії йому гравця. Тому для гравця 1 необхідно визначити мінімальні значення виграшів в кожної зі стратегій, а потім знайти максимум з цих значень, тобто визначити величину

$$V_н = max_i\ min_j\ a_{ij\backslash}$$

або знайти мінімальні значення по кожній з рядків платіжної матриці, а потім визначити максимальне з цих значень. Величина $V_н$ називається максиміна матриці або нижньої ціною гри. Та стратегія гравця, яка відповідає максиміна $V_н$ називається максиминою стратегією.

Очевидно, якщо ми будемо дотримуватися максиминной стратегії, то нам при будь-якому поведінці супротивника гарантований виграш, не менший $V_н$. Тому величина $V_н$ - це той гарантований мінімум, який ми можемо собі забезпечити, дотримуючись своєї найбільш обережної стратегії.

Величина виграшу гравця 1 дорівнює, за визначенням матричної гри, величиною програшу гравця Тому для гравця 2 необхідно визначити значення

$$V_в = min_j\ max_i\ a_{ij}$$

Або знайти максимальні значення по кожному із стовпців платіжної матриці, а потім визначити мінімальне з цих значень. Величина $V_{ст}$ називається мінімаксі матриці, верхній ціною гри або мінімаксним виграшем. Відповідна виграшу стратегія супротивника називається його мінімаксної стратегією. Дотримуючись своєї найбільш обережної мінімаксної стратегії, противник гарантований, що в будь-якому випадку він програє не більш $V_в$.

У разі, якщо значення $V_н$ *і* $V_в$ не збігаються, при збереженні правил гри (коефіцієнтів a_{ij}) в тривалій перспективі, вибір стратегій кожним з гравців виявляється нестійким. Стійкість він набуває лише при рівності $V_н = V_в = V$. В цьому випадку говорять, що гра має рішення в чистих стратегіях, а стратегії, в яких досягається V - оптимальними чистими стратегіями. Величина V називається чистою ціною гри [2].

Наприклад, в матриці (табл. 2.2) існує рішення в чистих стратегіях. При цьому для гравця 1 оптимальної чистої стратегією буде стратегія A_1, а для гравця 2 - стратегія B_4.

Таблиця 2.2 - Платіжна матриця, в якій існує рішення в чистих стратегіях

	B_1	B_2	B_3	B_4	Min_j

A_1	17	16	15	14	**14**
A_2	11	18	12	13	11
A_3	18	11	13	12	11
Max_i	18	18	15	**14**	

Таблиця 2.3 - Платіжна матриця, в якій не існує рішення в чистих стратегіях

	B_1	B_2	B_3	B_4	Min_j
A_1	17	16	15	12	**12**
A_2	11	18	12	13	11
A_3	18	11	13	12	11
Max_i	18	18	15	**13**	

У матриці (табл.2.3) рішення в чистих стратегіях не існує, так як нижня ціна гри досягається в стратегії A1 і її значення дорівнює 12, в той час як верхня ціна гри досягається в стратегії B4 і її значення дорівнює 13.

Розглянемо ігрову невизначеність, що відображає сумісне прийняття рішення декількома агентами, в рамках якої значимими є пропозиції агента про множину можливих значень ситуації гри.

Для опису колективної поведінки агентів недостатньо визначити їх переваги і правила індивідуального раціонального вибору окремо. У разі, коли в системі існує єдиний агент, гіпотеза його раціональної (індивідуальної) поведінки припускає, що агент поводиться таким чином, щоб вибором дії максимізувати значення своєї цільової функції. У разі, коли агентів декілька, потрібно враховувати їх взаємний вплив. В цьому випадку виникає гра-взаємодія, в якій виграш кожного агента залежить як від його власної дії, так і від дій інших агентів. Якщо в силу гіпотези раціональної поведінки кожен з агентів намагається вибором дії максимізувати свою цільову функцію, то зрозуміло, що у разі декількох агентів індивідуально раціональна дія кожного з них залежить від дій інших.

Розглянемо теоретико-ігрову модель некооперативної взаємодії між n агентами, припускаючи, що вони приймаю рішення одночасно і незалежно, не маючи можливості домовлятися про вибрані дії, перерозподіляти виграш.

Кожен агент здійснює вибір дії x_{i}, що належить допустимій множині X_i, і ϵ N={1, 2, …,n} – множині агентів. Вибір дій агентами здійснюється одноразово, одночасно і незалежно.

Виграш і-го агента залежить від його власної дії $x_i \epsilon X_i$ від вектора дій

$$x_{-i} = (x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_n)\, \epsilon\, X_{-i} = \prod_{j\, \epsilon\, N \because \{i\}} X_j$$

опонентів $N \backslash \{i\}$ і від стану природи $\Theta\ \hat{I}\ \Omega$, і описується дійсно значною функцією виграшу $fi = fi(q, x)$, де

$$x = (x_i, x_{-i}) = (x_1, x_2, \dots, x_n) = \prod_{j \in N} X_j$$

вектор дій всіх агентів. При фіксованому значенні стану природи сукупність

$\Gamma = (N,\ \{Xi\} i\ \epsilon N,\ \{fi(\times)\} i\ \hat{I} N)$ множини агентів, множини їх допустимих дій та цільових функцій називається гра в нормальній формі. Рішенням гри називається множина стійких в тому чи іншому смислі векторів дій агентів.

Розглянемо можливі принципи прийняття рішень агентами, кожен з яких породжує відповідну концепцію рівноваги, тобто визначає, в якому сенсі стійким повинен бути прогнозований результат гри.

2.2 Моделі рівноваги в домінантних стратегіях

Якщо для деякого агента при будь-якому стані природи безліч його найкращих відповідей не залежить від обставин, то воно становить безліч його домінантних стратегій (сукупність домінантних стратегій агентів називається рівновагою в домінантних стратегіях - РДС) [18]. Якщо у кожного з агентів існує домінантна стратегія, то вони можуть приймати рішення незалежно, тобто вибирати дії, не маючи ніякої інформації і не роблячи ніяких припущень на обставини. На жаль, РДС існує далеко не у всіх іграх.

Для реалізації агентами РДС, якщо останнє існує, досить знання кожним з них тільки своєї цільової функції і допустимих множин X'і Ω.

Гарантована рівновага. Тієї ж інформованістю повинні володіти агенти для реалізації гарантованої рівноваги, яка існує майже у всіх іграх:

$$x_i^2 \in Arg\ f_i(\theta, x_i, x_{-i} \quad , i \in N.$$

Рівновага Неша.

Визначимо багатозначне відображення

$$BR(\theta, x) = \big(BR_1(\theta, x_{-1}); BR_2(\theta, x_{-2}), \dots, BR_n(\theta, x_{-n})\big).$$

Рівновага Неша при стані природи Θ (точніше – параметричною рівновагою Неша) називається точка

$$x^*(\theta) \in X'$$

Що задовольняє наступну умову:

$$x^*(\theta) \in BR(\theta, x^*(\theta))$$

Для реалізації рівноваги Неша досить, щоб раціональність агентів і всі параметри гри, а також значення стану природи були загальним знанням [], тобто кожен з агентів раціональний, знає безліч учасників гри, цільові функції і допустимі множини всіх агентів, а також знає значення стану природи. Крім того, він знає, що інші агенти знають, а також те, що вони знають, що він це знає і т.д. до безкінечності.

Прагнення до стійкості рішень є широко розповсюдженим способом формулювання принципів раціональної поведінки в теорії ігор. Стійкість при цьому може розумітися по-різному. Найпопулярніший принцип раціональної поведінки в теорії некооперативних ігор рекомендує як раціональних результатів використовувати ситуації рівноваги Неша. Вони характеризуються тим, що відхилення від даної ситуації рівноваги одним з гравців не може збільшити його виграшу, і, таким чином, раціональною стратегією кожного гравця повинна бути реалізація рівноваги. Можна сказати, що ситуація називається рівноважною по Нешу, якщо вона стійка щодо індивідуального відхилення гравців.

Ситуація $x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ називається ситуацією рівноваги Неша (в чистих стратегіях), якщо для всіх $x_i \in X_i$, $i \in N$ справедлива нерівність

$$K_i(x_i^*, x_{-i}^*) \geq K_i(x_i, x_{-i}^*).$$

Сукупність всіх рівноважних по Нешу ситуацій гри називається множиною рівноваг Неша.

Якщо ситуація x^* - рівновага Неша, то нікому з гравців не вигідно поодинці відхилятися від неї. Однак можливо, що, об'єднавшись, гравці можуть поліпшити своє становище виходом з рівноваги Неша.

Набір змішаних стратегій $\chi^* = (\chi_1^*, \chi_2^*, \dots, \chi_n^*)$ називається ситуацією рівноваги Неша в змішаних стратегіях, якщо для довільної змішаної стратегії - гии χ_i будь-якого гравця $i \in N$ справедлива нерівність

$$\widetilde{K_\iota}(\chi_i^*, \chi_{-i}^*) \geq \widetilde{K_\iota}(\chi_i, \chi_{-i}^*),$$

$\widetilde{K_\iota}(\cdot)$ - результат усереднення функції виграшу гравців по користованими змішаним стратегіям.

Множина рівноваг Неша в чистих стратегіях може виявитися пустим для деяких ігор, і можлива відсутність рівноважних ситуацій є великим недоліком рівноваги Неша в чистих стратегіях. Проте, для рівноваги в змішаних стратегіях справедливий наступний результат

Теорема Дж. Неша. Для довільної дискретної гри існує, щонайменше, одна рівновага Неша в змішаних стратегіях.

Множина змішаних стратегій кожного гравця - не пустий випуклий компакт (обмежена і замкнена множина) в скінченному просторі. Позначимо множину найкращих відповідей гравця на довільну ситуацію

$$R_i(\chi_{-i}) = Arg\widetilde{K_\iota}(\chi_i, \chi_{-i}) .$$

По теоремі ця множина представляє собою безліч ймовірних розподілів на множині чистих стратегії - найкращих відповідей на задану ситуацію. Тому R_i - опукла множина, так як вона являє собою обмежену лінійними нерівностями підмножину опуклої множини змішаних стратегій [20]. Визначимо багатозначну відповідність

$$R(\chi) = \left(R_1(x_{-1}), \ldots, R_n(x_{-n})\right),$$

яка ставить у відповідність кожній ситуації безліч множин стратегій - найкращих відповідей кожного гравця на ситуацію, задану іншими компонентами ситуації. Для довільної ситуації в змішаних стратегіях χ, $R(\chi)$ є непустою, випуклим компактом.

Отже, як показано вище, множина рівноваг Неша в змішаних стратегіях не пусте для досить широкого класу ігор. Однак воно далеко не завжди єдино.

Наявність декількох рівноваг Неша породжує деякі проблеми, адже в ідеальному випадку концепція рішення повинна точно прогнозувати результат гри, що можливо лише при однозначному визначенні раціональних стратегій всіх гравців.

Одним з виходів є констатація того, що ситуації рівноваги Неша не є точним і єдиним рішенням, а є лише набором раціональних стратегій поведінки, вибір з яких можна зробити на основі наявних даних. В такому випадку виникає питання про поліпшення і поправки до визначення рівноваги Неша, які звужували б множину рівноваг (бажано - до однієї ситуації). Темі «поліпшення» рівноваги Неша присвячена велика кількість робіт. Один з методів уточнення рівноваги Неша полягає в переході до розгляду гри в розгорнутій формі. Виявляється, що деякі ігри, які мають різні уявлення в розгорнутій формі, можуть мати однакову нормальну форму.

При цьому, природно, всі рівноваги Неша цих ігор збігаються. Однак розгляд вихідних ігор дає можливість віддати перевагу одним з рівноваг перед іншими. В результаті можна відкинути деякі з рівноваг, посиливши, тим самим, пророкування поведінки гравців.

Інший вихід полягає в припущенні про те, що вибір однієї з рівноваг Неша гравці роблять на основі деякої малозначної інформації, яка не знайшла свого відображення в постановці завдання. Прагнення гравців до вибору однієї з рівноваг Неша в результаті гри називається ефектом точки фокуса [15,29].

Рівновага Неша піддається справедливій критиці, адже щоб результатом гри була рівновага Неша, всі гравці повинні вибрати саме рівноважну ситуацію, при цьому попередньо конкретизувавши одну з рівноважних ситуацій в у разі, коли рівноваг багато. Проте, змістовних пояснень раціональності використання рівноважних ситуацій, а також рекомендацій щодо забезпечення реалізації рівноважних ситуацій, можна запропонувати досить багато.

Так, наприклад, прийняття рішення про вибір рівноважної стратегії може бути наслідком рефлексивних міркувань виду: «Я думаю, що противник думає, що я поступлю так, значить, він вчинить так, тому я повинен діяти наступним чином ... ». Вкладеність таких міркувань може бути дуже розширеним, і рівновагу Неша - саме та ситуація, яка дозволяє розірвати «порочне коло», оскільки, навіть якщо противник знає, яку стратегію ми збираємося використовувати, то рівноважна стратегія дає йому максимальний в цих умовах виграш. Зауважимо, що для проведення подібних міркувань кожному гравцеві необхідно знати цільові функцій всіх гравців [22].

Іншим підходом до обґрунтування рівноваги Неша є створення гравцями «центру» - рекомендаційного органу, який бере на себе обчислення рівноваги Неша і вибір однієї з ситуацій рівноваги, видаючи потім рекомендації гравцям. При цьому, якщо гравець в поодинці відхиляється від цієї рекомендації, виграти від цього він не зможе, тому логічним для нього буде слідувати рекомендації «центру». Тут, як мінімум, центр повинен знати всі цільові функції, а гравці повинні довіряти центру в цьому питанні.

Зауважимо, що цей підхід, по суті справи, порушує раніше введене припущення про безкоаліційні ігри, так як означає створення усіма гравцями інформаційної коаліції - регулюючого органу.

В теорії управління широко поширений метод повторення гри, або метод «фіктивного розігрування» для реалізації рівноважних ситуацій. При цьому гравцю дозволяється розігрувати гру багаторазово, можливо, змінюючи стратегії від туру до туру. При цьому виявляється, що прагнення до максимізації виграшу змушує гравців міняти свої стратегії таким чином, щоб прийти, врешті-решт, в одну з ситуацій рівноваги. Виправданість такого підходу пояснюється тим, що при проведенні експериментів - так званих, імітаційних ігор [9, 20], - гравці поводяться таким чином, що, після проведення достатнього числа повторень гри (при цьому можна навіть не виплачувати гравцям їх виграш, а лише ставити їх до відома про його величиною) стратегії гравців сходяться до однієї з рівноваг Неша. Можна помітити, що рефлексивні роздуми, по суті, являють собою те же фіктивне розігрування, вироблене кожним гравцем окремо. Якщо все гравці раціональні, то їх рішенням має стати використання рівноважних стратегій.

2.3 Модель суб'єктивної рівноваги

Розглянуті види рівноваги є окремими випадками суб'єктивної рівноваги, яке визначається як вектор дій агентів, кожна компонента якого є найкращою відповіддю відповідного агента на ту обстановку гри, яка може реалізуватися з його суб'єктивної точки зору. Розглянемо можливі випадки.

Припустимо, що i-ий агент розраховує на реалізацію обстановки гри x_{-i}^{B} ("B" означає beliefs; іноді використовуються терміни «припущення», «здогадка» - conjecture) і стану природи Θ , тоді він вибере

$$x_i^B \in BR_i(\widehat{\theta_\iota}, \widehat{x_{-\iota}^B}), i \in N.$$

Вектор x^{B} є точковою суб’єктивною рівновагою.

Відзначимо, що при такому визначенні «рівноваги» не потрібно обґрунтованих припущень агентів про дії опонентів, тобто, може виявитися, що э і ϵ N: $\widehat{x_{-i}^B} \neq x_{-i}^B$. Обґрунтована суб'єктивна рівновага, тобто таке, що $\widehat{x_{-i}^B} = x_{-i}^B$ і ϵ N , є рівновагою Неша (для цього, зокрема, достатньо, щоб всі параметри гри були загальним знанням, і щоб кожен агент при побудові $\widehat{x_{-i}^B}$ моделював раціональну поведінку опонентів). В окремому випадку, якщо найкраща відповідь кожного агента не залежить від припущень про обстановку, то суб'єктивна рівновага є рівновагою в домінантних стратегіях.

У більш загальному випадку i-ий агент може розраховувати на вибір опонентами дій з множини $X_{-i}^B \subseteq X_{-i}$ і реалізацію стану природи із множини $\widehat{\Omega_i} \subseteq \Omega, i \epsilon N$. Тоді найкращою відповіддю буде гарантована суб'єктивна рівновага:

$$x_i\left(X_{-i}^B, \widehat{\Omega_i}\right) \epsilon \, Arg \, f_i \quad (\theta, x_i, x_{-i}), i \epsilon N.$$

Якщо $X_{-i}^B = X_{-i}, \widehat{\Omega_i} = \Omega, i \in N$, то $x_i\left(X_{-i}^B\right) = x_i^2, i \in N$, тобто гарантуюча суб'єктивна рівновага є «класичним» гарантованою рівновагою. Різновидом гарантуючої суб'єктивної рівноваги є *П*-рівновага, докладно викладено в [23].

У ще більш загальному випадку в якості найкращою відповіді i-го агента можна розглядати розподіл ймовірностей $p_i(x_i)$, де $p_i(\cdot) \in \Delta(X_i)$ - множині будь яких розподілів на X_i, яка максимізує очікуваний виграш агента з урахуванням його уявлень про розподіл ймовірностей $\mu_i(x_{-i}) \in \Delta(X_{-i})$ дій, що є обраними іншими агентами, і розподілі ймовірностей $q_i(\theta) \in \Delta\,(\Omega)$ стану природи (отримаємо Байєсів принцип прийняття рішень) [10,26]:

$$p_i\big(\mu_i(\cdot), q_i(\cdot)\big) = Arg \int_{X',\Omega} f_i(\theta, x_i, x_{-i}) p_i(x_i) q_i(\theta) \mu_i(x_{-i}) d\theta \, dx, i \in N$$

Таким чином, для реалізації суб'єктивної рівноваги потрібна мінімальна інформованість агентів - кожний з них повинен знати свою цільову функцію $f_i(.)$ і допустимі множини Ω і X'. Однак при такій інформованості сукупність припущень агентів про стан природи і про поведінку опонентів можуть бути неузгодженими. Для досягнення злагодження, тобто для того, щоб припущення виправдовувались, необхідні додаткові припущення про взаємну інформованості агентів. Найбільш сильним є припущення про загальні знання, яке перетворює суб'єктивну точкову рівновагу в рівновагу Неша, а сукупність Байєсових принципів прийняття рішень - в рівновагу Байеса-Неша.

Рівновага Байеса-Неша. Якщо в грі є неповна інформація [23], то Байесова гра описується наступним набором:

- множиною N агентів;

- множиною K' можливих типів агентів, де тип i-го агента $k_i \in K_i, i \in N$, вектор типів $k = (k_1, k_2, \dots, k_n) \in K' = \prod_{i \in N} K_i$;

- множиною $X' = \prod_{i \in N} X_i$ допустимих векторів дій агентів;

- набором функцій корисності $u_i: K' \times X' \to R^1$;

- представленням $\mu_i(k_i) \in \Delta(K_{-i}), i \in N$, агентів.

Рівновага Байеса-Неша в грі з неповною інформацією визначається як набір стратегій агентів виду $\sigma_i: K_i \to X_i, i \in N$, які максимізують відповідні очікувані корисності

$$U_i\big(k_i, \sigma_i(\cdot), \sigma_{-i}(\cdot)\big) = \int_{k_{-i} \in \prod_{j \neq i} K_j} u_i\big(k, \sigma_i(k_i), \sigma_{-i}(k_{-i})\big) \mu_i(k_{-i}|k_i) dk_{-i}, i \in N.$$

У Байесових іграх, як правило, передбачається, що представлення $\{\mu_i(\cdot \mid \cdot)\}\ i \in N$ є загальним знанням. Для цього досить, щоб вони були узгоджені, тобто виводились кожним з агентів по формулі Байеса з розподілу $\mu(k) \in \Delta(K')$, яке є загальним знанням.

2.4 Модель оптимальності по Парето

Модель оптимальності по Парето можна назвати, напевно, самим загальним принципом раціональності. Принцип В. Парето стверджує, що, якщо для ситуації *x* існує така ситуація *y*, що виграш кожного з гравців при реалізації ситуації y не менше, ніж при реалізації ситуації x, і принаймні один гравець отримує виграш, строго більший, то гравці віддають перевагу ситуації y ситуації x.

Ситуація x^* в безкоаліційної грі Γ називається оптимальною по Парето, якщо для будь-якої ситуації $x \neq x^*$, знайдеться гравець і, такий, що $K_i(x) < K_i(x^*)$.

Цей принцип представляється в певному сенсі полярним, протилежним до рівноваги в домінантних стратегіях. Якщо РДС є верх індивідуалістичної поведінки гравців, то рівновага Парето є критерієм співпраці. Дійсно, якщо є ситуація, яка приносить всім гравцям не менший дохід, ніж існуюча, то потрібно реалізувати більш виграшну для всіх них ситуацію. Однак для цього необхідні об'єднані зусилля всіх гравців, так як реалізована ситуація залежить від «правильного» вибору всіх стратегій. З приналежності ситуації множини не домінуючих по Парето ситуацій не слід, що така ситуація вигідна для всіх гравців. При розгляді рівноваги Неша, окремі гравці можуть бути не задоволені своїм виграшем в не домінуючій по Парето ситуації, так як, змінивши в поодинці свою стратегію, вони можуть збільшити свій виграш. Відповідні дії інших гравців, ущемлених такою поведінкою, можуть вивести ситуацію з множини Парето.

Як і видалення домінуючих стратегій, рівновагу Парето зазвичай виділяє достатньо широка множина ситуацій, в яких одночасно не може бути збільшений виграш всіх гравців. Проте, очевидна раціональність оптимальних по Парето результатів призводить до думки, що гарна теоретико ігрова концепція рішення повинна вважати раціональними тільки оптимальні по Парето результати.

Як підсумок, зручно переглянути наступну схему (рис.2.1), що показує, як співвідносяться між собою різні концепції рішення некооперативної гри.

Рисунок 2.1 - Порівняння концепцій рішень некооперативної гри

Області на рис. 2.1 представляють собою різні концепції рішення. Якщо одна область включається в іншу, це означає, що перша з них є більш точною, тобто якщо перша концепція дає деяку ситуацію як рішення, значить, друга буде давати цю ситуацію, як одне з рішень гри. Суцільною рисою обведені концепції рішення, для яких доведено існування рішення для довільної гри в нормальній формі. Пунктиром обведені концепції, які для деяких ігор дають пусту множину як рішення.

З рис. 2.1 видно, що РДС і рівновага Неша являються найсильнішими концепціями рішень: з того, що ситуація рівнозначна в домінантних стратегіях, слідує, що вона є і рівновагою Неша. Також і з сильної рівнозначності слідує рівнозначність Неша. Найслабша концепція - це видалення домінуючих стратегій. Вона пропонує в якості рішення найширшу множину ситуацій. Цей недолік виправдовується його логічної простотою. «Золотий серединою» в деякому роді, є рівновага Неша в змішаних стратегіях. У той же час, ця концепція достатньо сувора, множина рівноваг зазвичай набагато більше, ніж можна отримати, видаляючи домінуючі стратегії. Ці переваги і визначили популярність рівноваги Неша при вирішенні прикладних теоретико-ігрових завдань. Дещо одноосібно від інших стоїть оптимальність по Парето. Навіть просто видаляючи домінуючі стратегії, можна отримати в результаті тільки не оптимальні по Парето результати. Причина, по якій це відбувається, полягає в тому, що в цьому розділі розглядаються лише некооперативні ігри, де кожен гравець слідує лише своїм інтересам, не знаючи нічого про поведінку партнерів. Досягнення ж оптимальних по Парето ситуацій часто вимагає обміну інформацією між гравцями, узгодження їх дій або навіть компенсаційних виплат деяким гравцям за вибір ними певних стратегій.

2.5 Модель кооперативних ігор

Вище розглянуті деякі концепції рішення некооперативних ігор. Наведемо основні поняття кооперативних ігор, що моделюють взаємодію агентів, які мають можливість утворювати коаліції, і в рамках цих коаліцій домовлятися про вибрані дії, перерозподіляти користь і т.д. (Відзначимо, що в даній роботі розглядаються, в основному, некооперативні моделі - результати дослідження кооперативної взаємодії учасників організаційних систем описані в [6,32]).

Кооперативна гра задається множиною гравців N = {1, ..., n} і характеристичною функцією v: $2^N \to R$, що ставить у відповідність кожної коаліції гравців $S \subset N$ її виграш.

Поділом гри (N, v) називається вектор $x = (x_1, \dots, x_n)$, для якого

$$\sum_{i \in N} x_i = v(N)$$

– властивість ефективності,

$$x_i \geq v(\{i\}), i \in N$$

– властивість індивідуальної раціональності.

Рішенням кооперативної гри зазвичай вважається безліч поділів, які можуть бути реалізовані при раціональній поведінці гравців. Різні концепції рішення кооперативних ігор відрізняються припущеннями про раціональну поведінку гравців.

Кажуть, що поділ *x* домінує поділ *y* по коаліції S $(x \succ s^y)$, якщо

$$\forall\, i \in S \quad x_i > y_i, \; \sum_{i \in S} \quad x_i \le v(S)$$

Якщо існує така коаліція *S*, що $(x \succ s^y)$ говорять, що поділ *x* домінує поділ *y*. Більшість не домінуючих поділів гри називається *C*-ядром.

Необхідні і достатні умови непорожності *C*-ядра даються теоремою О.Н. Бондаревої: *C*-ядро гри *(N, v)* не порожнє тоді і тільки тоді, коли для будь-якого збалансованого покриття *δS*

$$\sum_{S \in N} \quad \delta_S v(S) \le v(N).$$

Ігри з непорожнім *C*-ядром називаються збалансованими.

Ігрова ситуація є сильною рівновагою Неша, якщо ніяка коаліція не може виграти, відхиляючись від рівноважної ситуації. Безліч сильних рівноваг Неша може виявитися порожнім, однак якщо в деякій грі з трансферабельною користю гравців є єдина сильна рівновага Неша, то відповідна кооперативна гра буде несуттєвою.

Концепція рішень в погрозах і контр погрозах заснована на наступній ідеї. Нехай, наприклад, в процесі гри трьох осіб утворилась коаліційна структура *{{1, 2}, {3}}*, яка містить коаліцію *T = {1, 2}*, в яку входять гравці з номерами 1 і 2. При розподілі доходу коаліції *v ({1, 2})* гравці 1 і 2 отримують суми x_1 і x_2 відповідно. Тоді, якщо гравець 1 незадоволений таким розподілом, він може сказати своєму партнерові, що, якщо його частка доходу не буде збільшена, то він сформує коаліцію *S = {1, 3 }*, де зможе розраховувати на більший виграш. Якщо така коаліція S може утворитися, тобто якщо гравцеві 3 вигідно змінити конфігурацію *x* на нову конфігурацію *y*, то така заява називається загрозою гравця 1 гравцеві 2. У свою чергу, гравець 2 може заявити гравцеві 1, що в разі подібних його дій він може запропонувати гравцеві 3 таку конфігурацію z коаліційної структури *{{1}, { 2, 3}},* що гравець 3 отримає більший дохід, ніж в конфігурації y, а сам гравець 2 одержить не менше, ніж у вихідній конфігурації x. Таким чином, гравець 2 висуває контр погрозу, «захищає» його частку x_2.

Тоді розподіл виграшу коаліцій деякої коаліційної структури між своїми учасниками є рівновагою в погрозах і контр погрозах, якщо на кожну загрозу довільній коаліції K проти будь-якої іншої коаліції L знайдеться контр погроза коаліції L проти коаліції K.

2.6 Загальні концепції рішень у кооперативних іграх

В теорії кооперативних ігор, також як і взагалі в теорії ігор, не існує єдиної концепції рішення. Це пов'язано з тим, що в початковій стадії розвитку теорії були розроблені досить прості моделі ігор, які легко піддаються аналізу, і, відповідно, прості концепції рішень, такі, як С-ядро і НМ-рішення. У міру розвитку теорії встав питання про практичного застосування отриманих результатів. Для того щоб наблизити теорію до прикладів ігор, що зустрічаються в житті, були розроблені більш складні моделі, наприклад, ігри з нетрансферабельною корисністю, ігри «в розбиття» і ін. Паралельно з'являлися як узагальнення поняття рішення на ці більш складні моделі, так і нові концепції рішень.

Деякі концепції рішення прийшли в теорію ігор з теорій суспільного добробуту і кооперативного вибору [21,33]. Темою дослідження цих теорій є завдання вибору колективних рішень в суспільстві. Зрозуміло, що колективний вибір повинен бути (або бажано, щоб був) єдиним. Для звуження кола можливих рішень ці теорії користуються аксіоматичними припущеннями про стратегію прийняття колективних рішень. У цих аксіомах широко використовується поняття «справедливого» розподілу благ (тобто розподілу виграшів, корисності і т.д.).

З поняттям справедливості в умовах прийняття рішення суспільством пов'язана окрема проблематика. Аксіоматичний підхід передбачає, що при дослідженні ситуації вибору, для того, щоб обґрунтувати вибір суспільства, дослідник справи робить припущення, більш-менш очевидні, про моральні установки даного суспільства, і, тим самим, визначає, що в даному суспільстві розуміється під справедливістю. Парадокс полягає в тому, що більшість досить очевидних і відповідаючи здоровому глузду припущень виявляються такими, що суперечать один одному. На сьогоднішній момент в науці не існує єдиної думки про те, що розуміти під справедливістю. Двома основними концепціями справедливого розподілу благ є егалітаризм і утилітаризм [29]. Егалітаризм стверджує, що при розподілі благ в першу чергу слід звертати увагу на корисність найбільш «обділених» членів суспільства. Утилітаризм же вважає справедливим «ефективний» розподіл, що призводить до найбільшої суми корисностей членів суспільства. Застосування цих концепцій до теорії кооперативних ігор призводить до понять N-ядра і вектора Шеплі відповідно.

Всі концепції рішення кооперативних ігор, що визначають як рішення єдиний розподіл корисності між гравцями, називаються значеннями гри.

Якщо гравці прийшли до такого поділу x виграшу максимальної коаліції, що не існує поділу, домінуючого розподіл x, то розподіл x стійкий в тому сенсі, що ніякої коаліції S невигідно відділятися від коаліції N і ділити між членами цієї коаліції виграш $v(S)$.

Множина не домінуючих поділів гри називається її С-ядром.

Множина поділів, що належать С-ядру, вважається рішеням кооперативної гри.

Теорема 1 [30]. Для того щоб розподіл x належав C-ядру, необхідно і достатньо виконання для всіх $S \subset N$ нерівностей

$$v(S) \leq \sum_{i \in S} x_i.$$

Ця теорема дає зручний спосіб знаходження *C*-ядра шляхом рішення системи нерівностей. Рішенням цієї лінійної системи є опуклий багатогранник в просторі $R^{|N|}$. Можна знайти його крайні точки і описати будь-який поділ з ядра, як зважену лінійну комбінацію крайніх точок.

C-ядро існує не для всіх ігор. Мало того, навіть умова супер адитивності є лише необхідною, але не достатньою умовою існування непорожнього ядра. Наприклад, всі ігри з постійною сумою мають порожнє *C*-ядро.

Необхідною і достатньою умовою існування непорожнього ядра є властивість збалансованості гри.

Максимальної коаліцією називається коаліція, що складається з усіх гравців.

Власної коаліцією називається коаліція, відмінна від максимальної коаліції.

Теорема 2 [21,34]. *C*-ядро гри *(N, v)* не порожнє тоді і тільки тоді, коли для будь-якого збалансованого покриття $\delta_{(\cdot)}$ виконана нерівність

$$\sum_{S \subset N} \delta_S v(S) \leq v(N)$$

Якщо для гри виконана ця умова, то гра називається збалансованою.

2.7 НМ- та конфігураційні моделі прийняття рішень

Оскільки ядро кооперативної гри часто виявляється порожнім, доводиться шукати інші концепції рішення.

Поняття НМ-рішення було введено Дж. Фон-Нейманом і О. Моргенштерном [10]. Цей факт знайшов відображення і в назві НМ-рішень, які зазвичай називають рішеннями по Нейману і Моргенштерну.

Вони запропонували розглядати як множину рішень гри не окремий розподіл, і навіть не множину поділів, а безліч підмножин множини поділів, що володіють певними властивостями. Кожне з цих підмножин називається НМ-рішенням.

Ідея, яка лежить в основі НМ-рішень - це прагнення до зовнішньої і внутрішньої стійкості. Внутрішня стійкість гарантує рівноправність поділів одного НМ-рішення, тобто те, що в НМ-рішенні не можна знайти пару поділів, таку, що один з них домінує інший. Зовнішня стійкість полягає в тому, що для будь-якого довільного поділу знайдеться домінуючий його розподіл, що належить даному НМ-рішенню.

Множина $V \subset E(v)$ називається НМ-рішенням, якщо

– Не існує такої пари $x, y \in V$, що $x \succ y$;

– Якщо $y \subseteq V$, то знайдеться такий $x \in V$, що $x \succ y$.

Між НМ-рішеннями і С-ядром існує певний зв'язок. Так, справедлива Теорема 3 [33]. Якщо С-ядро не порожнє, і існує НМ - рішення, то воно містить в собі С-ядро.

НМ-рішення повинні були вирішити проблему можливої порожнечі С-ядра. Однак в 1967 році була знайдена гра десяти осіб, що не має НМ-рішень [10]. Зазвичай же гра має величезну множину НМ-рішень, що дуже обмежує застосування цього поняття до практичних завдань. НМ-рішення швидше представляють собою філософську категорію, ніж практично застосовану концепцію рішення.

Зауважимо, що поняття НМ-рішення оперує поділом, як виграшом максимальної коаліції, тобто у визначенні передбачається, що максимальна коаліція все-таки утворювалась. Щоб визначити, яким же чином буде розподіллено дохід між учасниками максимальної коаліції, гравці повинні спочатку визначити, в рамках якого НМ-рішення вони обиратимуть поділ, а потім вибрати розподіл з множини поділів, що належать цьому НМ-рішенням.

Фон-Нейман і Моргенштерн пропонують наступну інтерпретацію цього процесу. На їхню думку, кожне НМ-рішення обмежує безліч поділів, задовільних з точки зору деякого набору моральних принципів, що діють в даному суспільстві. Тобто кожне НМ-рішення являє собою деяку етику поведінки. Вибір же поділу, що належить вибраному НМ-рішеню, залежить від переговорних здібностей учасників гри.

Пошук НМ-рішень досить трудомісткий зважаючи на їх чисельність.

Недоліки класичних НМ-рішень призвели до необхідності їх модифікацій. Так, Р. Ауман і М. Машлер [8], запропонували в якості результату гри використовувати не поділ, а конфігурації, які враховують утворення коаліційної структури, відмінної від максимальної коаліції.

Коаліційної структурою для гри *(N, v)* називається розбиття P множини гравців N, тобто множини непересічних коаліцій, об'єднання яких дає N.

Конфігурацією для гри *(N, v)* і коаліційної структури P називається такий розподіл доходу $x = \{(x_i, i \in S); S \in P\}$ між учасниками коаліцій, що

$$\sum_{i \in S} x_i = v(S), S \in P,$$
$$x_i \geq v(\{i\}), i \in N. \quad (32)$$

Індивідуально раціональною називається конфігурація *x*, в якій для всіх гравців i справедливе $x_i \geq v(\{i\})$ (всі конфігурації, що задовольняються формулою (32), індивідуально раціональні за визначенням).

Якщо в конфігурації $x = \{(x_i, i \in S); S \in P\}$ ніяка підкоаліція T довільної коаліції $S \epsilon P$ не може гарантувати собі більший дохід, ніж вона отримує в конфігурації x, то така конфігурація називається коаліційно раціональною.

Зрозуміло, що індивідуальна раціональність є більш слабкою умовою, ніж коаліційна раціональність.

Конфігурація $x = \{(x_i, i \in S); S \in P\}$ домінує конфігурацію $y = \{(y_i, i \in T); T \in R\}$, якщо знайдеться така коаліція $S \epsilon P$, що $x_i > y_i, \forall i \in S$.

Легко бачити, що при цьому коаліція S не може належати коаліційній структурі R.

На підставі введеного таким чином позиції домінування можна визначити рішення по Нейману і Моргенштерну аналогічно тому, як це було зроблено вище. Визначене таким чином рішення називається НМ-рішенням в конфігураціях.

Було доведено [10,12], що будь-яка гра п'яти осіб має рішення в конфігураціях, а для гри *n* осіб можна як завгодно мало змінювати значення характеристичної функції, щоб гра мала рішення в конфігураціях.

2.8 Моделі ієрархічних ігор

Опис ігор в нормальній або в Байесовій формі у багатьох випадках може виявитися громіздким. В тому числі, для багатьох поширених в практиці управління організаційними системами моделей складно побудувати гру в нормальній формі, тобто опис гри буде об'ємним, крім того, для них буде характерна відсутність багатьох «хороших» властивостей цільових функцій, наприклад, безперервності; істотно ускладняється і розрахунок рівноваги цих ігор.

Причина цих складнощів полягає в тому, що модель «класичної» теорії ігор, насправді, не завжди є самою простою. Припущення про одночасний вибір гравцями своїх стратегій значно ускладнює розгляд саме в випадках нетривіальних взаємодій гравців, обміну інформацією між ними, а також в задачах, в яких фіксований порядок ходів є органічною рисою їх опису (це характерно саме для завдань управління). Дійсно, при описі гри в нормальній формі облік процесів взаємодії між гравцями відбивається безпосередньо на складності множини стратегій, так як під стратегією розуміється повний план поведінки гравця у всіх можливих ігрових ситуаціях.

Якщо в розглянутих досі моделях ігрової невизначеності передбачалося, що гравці (агенти) вибирають свої стратегії одночасно і одноразово, то в ієрархічних іграх [7,8] існує фіксований порядок ходів - перший хід робить центр, потім свої стратегії обирають агенти. З цієї точки зору ієрархічні ігри є найбільш адекватним апаратом опису завдань управління організаційними системами.

Для ієрархічних ігор характерно використання максимального гарантованого результату (МГР) в якості базової концепції рішення гри. При цьому «песимістичність» МГР (взяття мінімуму по безлічі невизначених параметрів) компенсуються можливістю передачі інформації між гравцями, що, очевидно, знижує невизначеність при ухваленні рішення.

Критерії ефективності (цільові функції) першого і другого гравців позначимо $\omega_1 = f_1(x_1, x_2)$ і $\omega_2 = f_2(x_1, x_2)$ відповідно. Виграші гравців залежать від їх дій x_1 і x_2 з множини дій X_1^0, X_2^0.

У всіх моделях ієрархічних ігор вважається, що перший гравець (центр) має право першого ходу. Його хід полягає у виборі стратегії $\widetilde{x_1}$. Поняття стратегії істотно відрізняється від поняття дії і тісно пов’язане з поінформованістю першого гравця про поведінку другого гравця - агента. Під стратегією гравця тут і далі розуміється правило його поведінки, тобто правило вибору конкретної дії в залежності від змісту і конкретного значення тієї інформації, яку він отримає в процесі гри. Вибирати ж власне дію центр може і після вибору дії агентом.

Найпростіша стратегія центру полягає у виборі безпосередньо дії x_1 (якщо надходження додаткової інформації про дію агента в процесі гри не очікується), більш складна - у виборі функції $\widetilde{x_1}(x_2)$ (якщо в процесі гри очікується інформація про дію агента). Також стратегія центру може складатись в повідомленні агенту деякої інформацією, наприклад, інформації про плани своєї поведінки в залежності від вибору агентом дії. При цьому агент повинен бути впевнений, що перший гравець може реалізувати цю стратегію, тобто що перший гравець буде точно знати реалізацію дії x_2 на момент вибору своєї дії x_1.

Наприклад, якщо агент (вибирає стратегію другим) не очікує інформації про дію центру, то реалізація права першого ходу центру може складатися в повідомленні центром агенту функції $\widetilde{x_1}(x_1)$. Таке повідомлення може розглядатися, як обіцянку вибрати дію $x_1 = \widetilde{x_1}(x_2)$ при виборі агентом дії x_2.

Тоді стратегія агента полягає у виборі дії в залежності від повідомлення центру $x_2 = \widetilde{\widetilde{x_2}}(\widetilde{x_1}(.))$. Якщо при цьому агент довіряє повідомленням центру, він повинен вибрати дію x_2, що реалізує

$$f_2\ (\widetilde{x_1}(x_2), x_2)$$

Гра з описаним вище порядком функціонування називається для скорочення грою *Г₂* (прикладом такої гри служить, як раз, завдання стимулювання в умовах інформованості центру про дії агента [36].

Якщо центр не очікує інформації про дію агента, і це відомо агенту, то стратегія центру складається, як вже було сказано, просто з вибору деякої дії $\dot{x_1}$. Стратегія агента складається у виборі $x_2 = \widetilde{x_2}(\dot{x_1})$ (він робить хід другим, вже знаючи дію центру). Така гра називається грою *$Г_1$* (це, наприклад, тt ж завдання стимулювання, але вже в умовах відсутності у центру інформації про дію агента).

Розглянемо спочатку гру Γ_1. Пара дій $(\dot{x_1}, \dot{x_2}$ в грі Γ_1 називається рівновагою Штакельберга, якщо

$$x_1^* \in\ f_1(x_1, x_2)\ ,$$

$$x_2^* \in\ R_2(x_1^*) = Arg\ f_2(x_1^*\ , x_2)$$

Тобто $R_2(x_1)$ – функція найкращої відповіді на дію центру.

Рівновага в грі *$Г_1$* відрізняється від рівноваги Штакельберга тим, що при визначенні оптимальної стратегії першого гравця обчислюється мінімум по множині $R_2(x_1)$:

$$x_1^* \epsilon\ Arg f_1(x_1, x_2).$$

У грі *$Г_1$* агент вибирає дію в умовах повного інформування, вже знаючи дію центру. Максимізація виграша вибором своєї дії є тут окремим випадком застосування принципу МГР. Рівноважний по Штакельбергу дію центру також дає йому гарантований результат, якщо центр впевнений в тому, що агент вибирає свою дію відповідно до формули і принципом доброзичливості.

Таким чином, рівнозначні стратегії як центру, так і агента, є для них і гарантуючими. Однак ситуація, коли перший хід дає перевагу, все ж більш типова. Тоді, якщо порядок ходів визначається самими гравцями, між ними виникає боротьба за лідерство. Грі двох осіб в нормальній формі можна поставити у відповідність дві гри Γ_1 (гри першого порядку), що відрізняються послідовністю ходів. Тоді боротьба за лідерство (перший хід) визначається ви - придатності переходу від вихідної гри до будь-якої з ієрарських ігор першого порядку. Відомо [9,10], що, якщо в грі двох осіб є хоча б два різних оптимальних по Парето рівновага Неша, то в цій грі має місце боротьба за перший хід.

Проте, у багатьох випадках відповідне грі Γ_1 поведінка центру не можна назвати ефективним (якщо в завданні стимулювання центр буде першим вибирати дію (стимулювання агента, рівень зарплати), а потім вже агент буде вибирати свою дію при заданому стимулюванні, єдине рівновагу Штакельберга буде полягати в тому, що центр нічого не буде платити агенту, а агент, відповідно, не буде працювати). Тому, коли центр спостерігає дію агента, він зацікавлений повідомити агенту про свої плани по вибору дій - наслідком залежно від дії агента, реалізуючи тим самим гру Γ_2.

Розгляд інформаційних розширень гри, або метаігр дає відповідь на питання про те, яким чином співвідносяться виграші центру в іграх Γ_1 і Γ_2 з однаковими функціями виграшу.

Якщо центр не планує самостійно отримувати інформацію про дію агента, він може першим вибрати дію, реалізуючи гру Γ_1. Однак йому можна порекомендувати і більш складнішу поведінку. Центр може попросити агента поінформувати його про свою стратегію $x_2 = \widetilde{x_2}(x_1)$, яка заснована на очікуваної агентом інформації про дії центру. Реалізація права першого ходу центром складається в цьому випадку в повідомленні агенту стратегії $\widetilde{\widetilde{x_1}}(\widetilde{x_2}(x_1))$. Цю стратегію можна розглядати, як обіцянку центру вибрати дію $\widetilde{\widetilde{x_1}}(\widetilde{x_2}(x_1))$ за умови, що агент обіцяє обирати свою дію відповідно до $\widetilde{x_2}(x_1)$. Так утворюється гра Γ_3.

Якщо центр визначає порядок обміну інформацією, він може обирати, грати йому $Г_1$ або $Г_3$. В обох іграх центр змушений вибирати дію, не знаючи дії, обраного агентом. Можна вважати $Г_3$, в деякому роді, ускладненням гри $Г_1$.

Аналогічно тому, як, за допомогою утворення додаткової «петлі зворотного зв'язку», з $Г_1$ була утворена $Г_3$, можна ускладнити і гру $Г_2$. Так утворюється гра $Г_4$. У ній агент, чекаючи від центру, як і в $Г_2$, інформацію виду $\widetilde{x_1}(x_2)$, формує і повідомляє центру свою стратегію $\widetilde{\widetilde{x_2}}(\widetilde{x_1})$. Центр, який має право першого ходу, користується стратегіями) $\widetilde{\widetilde{\widetilde{x_1}}}(\widetilde{\widetilde{x_2}})$, які визначають, яку функцію $\widetilde{x_1}(x_2)$ вибере центр в залежності від повідомлення агента $\widetilde{\widetilde{x_2}}$.

Таким же способом можна на основі $Г_3$ побудувати гру $Г_5$, і так далі. У кожній з побудованих парних ігор Γ_{2m}, m = 1, 2, ..., центр використовує в якості стратегій відображення безлічі стратегій агента в цій грі на безліч стратегій центру в грі $Г_{2m-2}$. Аналогічно, стратегіями агента є відображення безлічі стратегій центру в $Г_{2m}$ на безліч стратегій агента в грі $Г_{2m-2}$.

Таку рефлексію можна було б нарощувати нескінченно, переходячи до все більш складних схем обміну інформацією, якщо б розгляд цих ігор збільшувало виграш центру (в інтересах якого і проводиться дослідження всіх метаігр). Однак має місце наступний результат.

Теорема Н.С. Кукушкіна [10,37]. Максимальний гарантований результат центру в грі $Г_{2m}$ при $m > 1$ дорівнює максимальному гарантованому результату центру в грі $Г_2$. В іграх же $Г_{2m+1}$ при $m > 1$ максимальний гарантований результат центру дорівнює його максимальному гарантованого результату в грі $Г_3$.

3 СТРУКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ МОДЕЛЕЙ ВИБОРУ НАЙКРАЩОЇ СТРАТЕГІЇ

3.1 Визначення гри в розгорнутій структурній формі

Розгорнута форма - природний спосіб представлення ігор, на кшталт шахів або преферансу. Однак і інші ігри зазвичай спочатку розглядаються в розгорнутій формі.

Ігри в розгорнутій формі подаються у вигляді дерева, вершини якого являють собою поточні ігрові ситуації. Вершини з'єднуються дугами, які означають можливі переходи між ситуаціями. Якщо з даної вершини виходять кілька дуг, це означає, що в даній ситуації хід гри залежить від вибору одного з гравців або від реалізації зовнішньої події. Най лівіша вершина («корінь» дерева) означає ситуацію на початку гри, кінцеві (термінальні) вершини означають можливі результати гри. Кожній кінцевої вершині поставлено у відповідність вектор виграшів гравців. У разі двох гравців цей вектор складається з пари чисел - значень корисності гравців при заданому результаті гри.

Для кожної нетермінальних вершини необхідно вказати, який гравець контролює дану вершину, тобто здійснює вибір. Вершина може і не контролюватися жодним з гравців, тоді цю вершину контролює природа (як, наприклад, стартову вершину). Вершина, контрольована гравцем з номером *i*, називається ще «точкою вибору *i*-го гравця».

При кожному розіграші гравці (і реалізація природних факторів) вибирають шлях в цьому дереві від стартової вершини до однієї з термінальних вершин. Важливою деталлю опису гри в розгорнутій формі є інформованість гравця в кожній контрольованій їм ігровий ситуації. Для повноти опису необхідно, крім гравця, контролюючого дану вершину, вказати інформаційний стан, в якому він знаходиться. Зауважимо, що можливі альтернативи вершин, об'єднаних одним інформаційним станом, повинні збігатися, інакше порушується припущення про однакову поінформованість гравця в обох ситуаціях. Таким чином, для опису гри *n* осіб в розгорнутій формі необхідно визначити:

– Дерево, ребрам і вершинам якого присвоєні наступні мітки;

– Кожній термінальній вершині F_i ставиться у відповідності мітка-«вектор виграшів », тобто числовий вектор $f(F_i) = (f_1, f_2, ..., f_n)$ (розмірності *n*) виграшів (корисностей) гравців.

– Кожній нетермінальних вершині ставиться у відповідності мітка контролю - номер гравця $i \in N = \{1, 2, ..., n\}$, контролюючого вершину. Якщо дану вершину контролює природа (зовнішні обставини, випадок і т.д.), то ця мітка дорівнює нулю.

– Кожній нетермінальних вершині ставиться у відповідності мітка інформаційного стану гравця (зазвичай вона відділяється від номера гравця точкою).

– Кожне ребро позначено можливими альтернативами, доступними для вибору гравця, який контролює вершину, з якої виходить дане ребро. Якщо вершину контролює природа, мітки повинні позначати ймовірності реалізації даної альтернативи, причому сума ймовірностей повинна дорівнювати одиниці.

– Набір вихідних ребер безлічі вершин з одним інформаційним станом має однаковий набір маркіровок.

Описати гру в розгорнутій формі досить складно, хоча і змістовно. Слід очікувати, що і формулювання поняття рішення для таких ігор буде громіздким. Тому замість того, щоб детально досліджувати гри в розгорнутій формі, введемо нову, більш просту форму гри (нормальну, або стратегічну форму), визначимо формальну процедуру переходу від ігор в розгорнутій формі до ігор в нормальній формі, і на час забудемо про існування розгорнутої форми взагалі.

Визначення гри в нормальній структурній формі. На відміну від досить складної постановки гри, що розглядається вище, постановка гри в нормальній формі порівняно проста. Передбачається, що гравці мають можливість лише один раз вибрати альтернативу (дія) з безлічі можливих дій. Також передбачається, що вибір дії гравці проводять одночасно і незалежно один від одного, не знаючи вибору супротивників. Після вибору всіх дій реалізується певний результат. Кожному результату відповідають значення корисності гравців, їх виграші.

Усім гравцям відомо як залежить їх виграш від результату гри, так і виграші супротивників. Тобто в такому вигляді визначення гри в нормальній формі підходить тільки для ігор з повною інформованістю.

Відповідно до введеної вище класифікацією, серед ігор в нормальній формі можна виділити антагоністичні гри, в яких сума виграшів гравців при будь-якому результаті дорівнює нулю, ігри з не протилежними інтересами, в яких сума виграшів може бути різною для різних ситуацій.

Для економічних задач і завдань організаційного управління типова ситуація, коли інтереси гравців не протилежні. Тоді, в принципі, гравці можуть бути зацікавлені в спільні дії, наприклад, в обміні інформацією. Але, іноді подібне кооперування заборонено правилами гри. Цей випадок є предметом дослідження теорії некооперативних ігор. Крім того, результати теорії некооперативної ігор будуть використані в подальшому при дослідженні кооперативних ігор.

3.2 Структурні особливості розробки моделей з прийняття рішень

У попередніх розділах були розглянуті основні поняття теорії ігор, перейшовши від ігор, в яких агенти вибирають свої дії одночасно (гра Γ_0 в нормальній формі або у формі характеристичної функції) до ієрархічним ігор, в яких послідовність ходів фіксована - першим робить хід центр, а потім - агент. Можна ускладнювати модель і далі, переходячи до все більш складних ігор. Опишемо загальну картину (рис.3.1), яка дозволяє побачити логіку переходу від більш простих до більш складним завданням, щоб більш складне завдання могло бути розкладена на більш прості.

Якщо є один суб'єкт, який приймає рішення (рис. 3.1а), то він описується з точки зору гіпотези раціональної поведінки як той, що прагне максимізувати свою цільову функцію. Далі можна ускладнити модель і розглянути кілька суб'єктів на одному рівні (рис. 3.1б), описавши їх взаємодію грою $Г_0$ в нормальній формі. Якщо ввести ієрархію, то для двох суб'єктів (рис. 3.1в) їх взаємодія описується грою $Г_i$, де i = 1, 2 або 3.

Уявімо собі, що є структура «один начальник - кілька підлеглих» (рис. 3.1г). Взаємодія агентів, що знаходяться на одному рівні, можна описувати грою $Г_0$. Взаємодія «начальник-підлеглий» описується грою $Г_i$. Тоді умовно таку структуру можна уявити грою $Г_i$, визначеною на грі $Г_0$, умовно позначивши її $Г_i(Г_0)$.

Далі, нехай є кілька начальників (центрів) і декілька підлеглих - агентів (рис. 3.1д). На нижньому рівні агенти грають гру $Г_0$. Над ними центри відіграють ієрархічну гру $Г_i$, але центри, в свою чергу, розігрують на своєму рівні гру $Г_0$. Разом, отримали гру $Г_0(Г_i\ (Г_0))$.

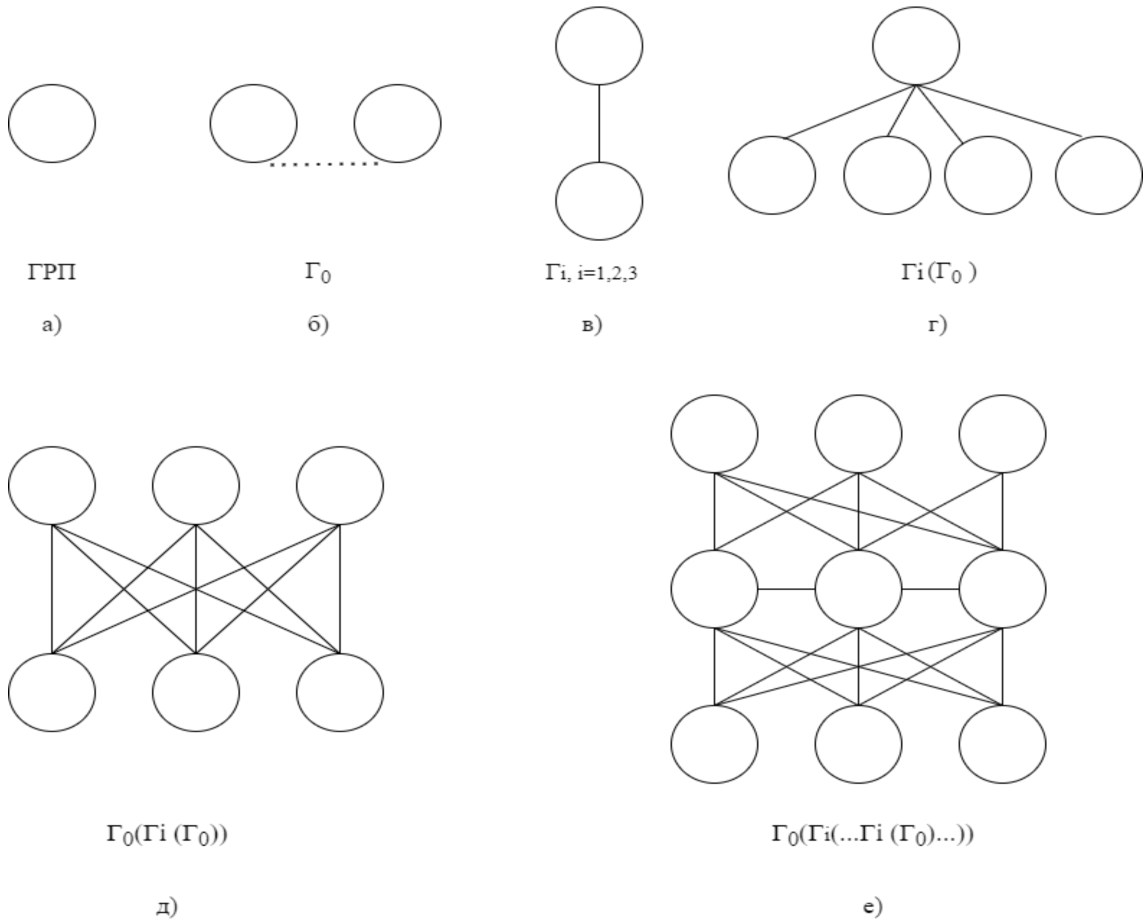


Рисунок 3.1 - Ігри та структури

Можна взяти складнішу структуру з більш складним взаємодією (рис.3.1е). Це буде ієрархічна гра між рівнями, і "звичайна" гра на кожному з рівнів: $Г_0(Г_i(\ldots Г_i(Г_0)\ldots))$.

Основна ідея полягає в тому, щоб розкласти складну структуру (гру) на набір більш простих і скористатися результатами дослідження останніх. Виявляється, що між іграми та структурами існує глибокий зв'язок - момент прийняття суб'єктом рішень визначає його "місце" в організаційній ієрархії.

Отже, ігрова задача може здаватися в різних формах. Одні форми більше підходять для опису одних класів ігор (реальних ситуацій), інші - для інших. Проте, таке різноманіття постановок задач породжує свої складності. Далі розглянемо варіанти, коли одна і та ж гра може представлена в різних формах. Визначимо як будуть співвідноситися рішення гри, представленої в одній формі з рішеннями цієї ж гри, представленої в іншій формі. Зокрема буде показано, яким чином проводиться перехід від гри в розгорнутій формі до гри в нормальній формі.

3.3 Структурні особливості некооперативних ігор

Розглянемо гру, в якій беруть участь агенти з множини $N = \{1, 2, ..., n\}$. Якщо в ситуації присутній невизначений параметр $\Theta \in \Omega$, то структура інформованості I_i (як синонім будемо вживати терміни інформаційна структура і ієрархія уявлень) i-го агента включає в себе наступні елементи. По-перше, уявлення i-го агента про параметр Θ - позначимо його Θ_i, $\Theta_i \in \Omega$. По-друге, уявлення i-го агента про уявленнях інших агентів про параметр Θ - позначимо їх Θ_{ij}, $\Theta_{ij} \in \Omega$, $j \in$ N. По-третє, уявлення i-го агента про представленні j-го агента про представленні k-го агента - позначимо їх Θ_{ijk}, $\Theta_{ijk} \in \Omega$, j, $k \in$ N. І так далі.

Аналогічно задається структура інформованості I гри в цілому - набором значень $\Theta_{i1\ ...\ il}$, де l набуває множину цілих невід'ємних чисел, $j_1, ..., j_l \in N$, а $\Theta_{i1...il}$, $\in \Omega$. Підкреслимо, що структура інформованості I «недоступна» спостереженню агентів, кожному з яких відома лише деяка її частина (а саме - I_i). Таким чином, структура інформованості - нескінченне n-дерево (тобто тип структури постійний і є n-деревом), вершинам якого відповідає конкретна інформованість реальних і фантомних агентів.

Рефлексивною грою Γ_i називається гра, описана наступним кортежом [12,34]:

$$\Gamma_1 = \{N, (X_i)_{i \in N}, f_1(.)_{i \in N}, \Omega, I\}$$

де N - множина реальних агентів, X_i - множина допустимих дій i-го агента, $f_i(\cdot)$: Ω X' $\rightarrow R^1$ - його цільова функція, і $\in N$, Ω - множина можливих значень невизначеного параметра, I - структура інформованості. Підкреслимо, що всі елементи рефлексивної гри крім структури інформованості є загальним знанням серед агентів, тобто

– ці елементи відомі всім агентам;
– всім агентам відомо 1);

– всім агентам відомо 2) і т. д. до нескінченності.

Далі для формулювання деяких визначень і властивостей нам знадобляться наступні позначення:

Σ_+ - множина всіляких кінцевих послідовностей індексів з N;

Σ_- об'єднання Σ_+ з порожньою послідовністю;

$|\sigma|$ - кількість індексів в послідовності σ (для порожньої послідовності приймається рівним нулю), яке вище було названо довжиною послідовності індексів.

Якщо θ_i - представлення i-го агента про невизначеному параметрі, а θ_{ii} - представлення i-го агента про власне представлення, то природно вважати, що $\theta_{ii}=\theta_i$. Іншими словами, i-й агент правильно поінформований про власні представлення, а також вважає, що такими є і інші агенти і т.д. Формально це означає, що виконана аксіома автоінформування, яку далі будемо припускати здійсненою

$$\forall\, i \in N\ \forall\, \tau, \sigma \in \Sigma\ \theta_{\tau i i \sigma} = \theta_{\tau i \sigma}.$$

Ця аксіома означає, зокрема, що, знаючи θ_τ для всіх $\tau \in \Sigma_+$, таких що $|\tau| = \gamma$, можна однозначно знайти θ_τ для всіх $\tau \in \Sigma_+$, таких що$|\tau| < \gamma$.

Поряд зі структурами інформованості I_i, $i \in N$, можна розглядати структури інформованості I_{ij} (структура інформованості j-го агента в поданні i-го агента), I_{ijk} і т.д. Ототожнюючи структуру інформованості з характерним для неї агентом, можна сказати, що, поряд з n реальними агентами (i - агентами, де $i \in N$) зі структурами інформованості I_i, в грі беруть участь фантомні агенти (t-агенти, де $\tau \in \Sigma_+$, $|\tau| \geq 2$) зі структурами інформованості $I_\tau = \{\theta_{\tau\sigma}\}, \sigma \in \Sigma$, існуючі в свідомості реальних агентів.

Визначимо фундаментальне для подальших розглядів поняття тотожності структур інформованості. Структури інформованості I_λ i I_μ $(\lambda, \mu \in \Sigma_+)$ називаються тотожними, якщо виконані дві умови:

1. $\theta_{\lambda\sigma} = \theta_{\mu\sigma}$ для будь-якого $\sigma \in \Sigma$;

2. останні індекси в послідовності λ і μ збігаються.

Будемо позначати тотожність структур інформованості наступним чином: $I_\lambda = I_\mu$.

Поняття тотожності структур інформованості дозволяє визначити їх важливу властивість - складність. Зауважимо, що поряд зі структурою I є лічена множина структур $I_\tau, \tau \in \Sigma_+$, серед яких можна за допомогою відношення тотожності виділити класи попарно нетотожних структур. Кількість цих класів природно вважати складністю структури інформованості.

Будемо говорити, що структура інформованості I має кінцеву складність $v = v(I)$, якщо існує такий кінцевий набір попарно нетотожних структур $I_{\tau_1}, I_{\tau_2}, \dots, I_{\tau_v}, \tau_l \in \Sigma_+, l \in \{1, \dots, v\}$, що для будь-якої структури $I_\sigma, \sigma \in \Sigma_+$, знайдеться тотожна їй структура I_{τ_l} з цього набору. Якщо такого кінцевого набору не існує, будемо вважати, що структура I має нескінченну складність: $v(I) = \infty$.

Структуру інформованості, маючі кінцеву складність, будемо називати кінцевою (ще раз зазначимо, що при цьому дерево структури інформованості все одно залишається безкінечним). В іншому випадку структуру інформованості будемо називати нескінченною.

Ясно, що мінімально можлива складність структури інформованості в точності дорівнює числу, що беруть участь в грі реальних агентів (нагадаємо, що за визначенням є тотожності структур інформованості вони попарно відрізняються у реальних агентів).

Будь-який набір (кінцевий або лічений) попарно нетотожних структур $I_\tau, \tau \in \Sigma_+$, такий, що будь-яка структура $I_\sigma, \sigma \in \Sigma_+$ тотожна однієї з них, назвемо базисом структури інформованості I.

Якщо структура інформованості I має кінцеву складність, то можна визначити максимальну довжину послідовності індексів γ таку, що, знаючи всі структури $I_\tau, \tau \in \Sigma_+, |\tau| = \gamma$, можна знайти і всі інші структури. Ця довжина в певному сенсі характеризує ранг рефлексії, необхідний для опису структури інформованості.

Будемо говорити, що структура інформованості I, $v(I) < \infty$. має кінцеву глибину $\gamma = \gamma(I)$, якщо

1. для будь-якої структури $I_\sigma, \sigma \in \Sigma_+$, знайдеться тотожна їй структура $I_\tau, \tau \in \Sigma_+, |\tau| \leq \gamma$;

2. для будь-якого цілого позитивного числа ξ, $\xi < \gamma$, існує структура $I_\sigma, \sigma \in \Sigma_+$, що не тотожна ніякій зі структур $I_\tau, \tau \in \Sigma_+, |\tau| = \xi$.

Якщо, $v(I) = \infty$, то і глибину будемо вважати нескінченною: , $\gamma(I) = \infty$.

Поняття складності і глибини структури інформованості гри можна розглядати τ-суб'єктивно. Зокрема, глибина структури інформованості гри з точки зору τ-агента, $\tau \in \Sigma_+$, називається рангом рефлексії τ-агента.

Якщо задана структура I інформованості гри, то тим самим задана і структура інформованості кожного з агентів (як реальних, так і фантомних). Вибір τ-агентом своєї дії x_τ в рамках гіпотези раціональної поведінки визначається його структурою інформованості I_τ, тому, маючи перед собою цю структуру, можна змоделювати її міркування і визначити його дію. Вибираючи свою дію, агент моделює дії інших агентів (здійснює рефлексію). Тому при визначенні результату гри необхідно враховувати дії як реальних, так і фантомних агентів.

Набір дій x_τ^*, $\tau \in \Sigma_+$, назвемо інформаційною рівновагою [19], якщо виконані наступні умови:

1. структура інформованості I має кінцеву складність v;
2. $\forall\, \lambda, \mu \in \Sigma \;\; I_{\lambda i} = I_{\mu i} \rightarrow x_{\lambda i}^* = x_{\mu i}^*$;
3. $\forall\, i \in N, \forall\, \sigma \in \Sigma$

$$x_{\sigma i}^* \in Arg f_i\left(\theta_{\sigma i}, x_{\sigma i 1}^*, \dots, x_{\sigma i, i-1}^*, x_i, x_{\sigma i, i+1}^*, \dots, x_{\sigma i, n}^*\right).$$

Перша умова в визначенні інформаційної рівноваги означає, що в рефлексивній грі бере участь кінцеве число реальних і фантомних агентів.

Друга умова відображає вимоги того, що однаково інформовані агенти обирають однакові дії.

І, нарешті, третя умова відображає раціональну поведінку агентів - кожний з них прагне вибором власної дії максимізувати свою цільову функцію, підставляючи в неї дії інших агентів, які виявляються раціональними з точки зору розглянутого агента в рамках наявних у нього уявлень про інших агентів.

Зручним інструментом дослідження інформаційної рівноваги є граф рефлексивної гри, в якому вершини відповідають реальним і фантомним агентам, і в кожну вершину-агента входять дуги (їх число на одиницю менше числа реальних агентів), що йдуть з вершин-агентів, від дій яких в суб'єктивній рівновазі залежить виграш даного агента.

Однією з особливостей «класичної» рівноваги Неша являється його самопідтримуючий характер - якщо гра повторюється кілька разів, і всі гравці окрім *i*-го вибирають одні і ті ж рівноважні дії, то і *i*-му немає резону відхилятися від своєї рівноважної дії. Ця обставина очевидним чином пов'язано з тим, що подання всіх гравців про реальність адекватно - значення стану природи є загальним знанням.

У разі інформаційного рівноваги ситуація може бути іншою. Дійсно, в результаті однократного розігрування гри може виявитися, що якийсь з гравців (або навіть всі) спостерігають не той результат, на який вони розраховували. Це може бути пов'язано як з неправильним поданням про стан природи, так і з неадекватною поінформованістю про уявлення опонентів. У будь-якому випадку, самопідтримуючий характер рівноваги порушується - якщо гра повторюється, то дії гравців можуть змінитися.

Загальними недоліками розглянутих вище концепцій рішення є, по-перше, те, що рішення існує не для всіх ігор, по-друге, що, якщо воно існує , то в більшості випадків не є єдиним. Однак в реальності результатом гри є завжди єдине розподіл виграшу між гравцями. У зв'язку з цим представляється привабливим побудова концепції рішення, яке завжди було б визнано і завжди давало б єдиний поділ як рішення. Такі концепції рішення називаються операторами значення гри.

Оператором значення гри називається відображення j $[v]$, що ставить у відповідність будь-кооперативної грі єдиний поділ з безлічі поділів, званий значенням гри. Цей підхід до пошуку рішення розроблявся, в основному, аксіоматичної теорією прийняття рішень [14]. Його основний рисою є введення (у вигляді аксіом) деяких пропозицій про механізм прийняття рішення та пошук поняття рішення, задовольняє даними аксіом. Уже саме визначення оператора значення несе в собі риси аксіоматики. Так, по суті справи, апріорі передбачається, що будь-яка гра обов'язково повинна мати рішення, і рішення це має бути єдиним. Подальші аксіоми вводяться в основному в рамках основних напрямків теорії кооперативного вибору - утилітаризму і егалітаризму [15,37], приводячи до різних концепцій рішення - вектору Шеплі і N-ядра відповідно. Величезним досягненням аксіоматичної теорії прийняття рішень є демонстрація взаємної суперечливості ніяких, здавалося б, очевидних припущень про справедливий розподілі благ, тобто виявляється, що деяким висловам справедливості не можна задовольнити одночасно. Цей факт позначився і на результатах, що відносяться до операторів значення.

3.4 Концепції розробки структур моделей вибору найкращої стратегії

Вище були перераховані постановки задач теорії ігор. Тепер настав час для того, щоб приступити до вирішення цих завдань. Необхідно знайти рішення гри, вирішити теоретико-ігрову задачу.

З формальної точки зору можна розділити завдання прийняття рішень в теорії ігор, коли гра розглядається з точки зору одного з гравців, якому (на підставі дослідження гри) рекомендується ту чи іншу поведінку, і завдання прогнозування результатів гри, тобто описові завдання, коли дослідник займається пошуком можливих результатів гри при раціональну поведінку гравців. Зрозуміло, що, в силу специфіки теорії ігор, ці завдання взаємопов'язані, так як завдання прийняття рішень в теорії ігор з неминучістю вимагає прогнозування поведінки інших раціональних гравців. Припущення про розумність супротивників / партнерів вимагає розгляду їх поведінки з не меншою подробицею, ніж поведінки ОПР, при цьому досліднику доводиться ставати на точку зору кожного з гравців, тобто абстрагуватися (хоча б на час) від безпосередніх інтересів керуючої сторони. Аналогічно й завдання опису раціональних результатів розпадається на задачі раціонального вибору всіх гравців, тобто розгляду гри з точки зору кожного з гравців. Тим не менше, ці два підходу не однакові в методичному плані. У певних ситуаціях (наприклад, в ієрархічних іграх) більш продуктивним виявляється підхід теорії прийняття рішень, в інших же ситуаціях краще підходить описовий метод. Відповідно, різні концепції рішення ігор більш схильні до того підходу, в рамках якого вони зародилися.

Рішенням гри в найзагальнішому сенсі можна назвати будь-який опис того, яким чином повинні вести себе гравці в тій чи іншої ігрової ситуації [39]. Це не обов'язково повинен бути набір рекомендованих для кожного гравця дій. Рішенням, наприклад, може бути набір фіналів гри. Таке рішення можна інтерпретувати як набір ситуацій, раціональних відносно деяких припущень про поведінку гравців. Тобто при раціональному поведінці гравців повинні реалізовуватися тільки ситуації, що належать рішенням. Рішенням гри може бути і набір змішаних стратегій, якщо одних тільки чистих стратегій недостатньо.

В даний час в теорії ігор не існує єдиної концепції рішення, однаково придатною для всіх класів ігор. Пов'язано це, по-перше, з тим, що формальний опис гри являє собою лише дуже грубий «зліпок» з надзвичайно складних реальних процесів, що відбуваються в ході гри: обміну інформацією, можливих договорів між гравцями, самостійних дій гравців по збільшення своєї поінформованості. Не можна виключати і можливості ірраціональної поведінки гравців, яке практично не піддається формалізації.

Якщо ставити за мету включити всі подібні деталі в описі гри, то воно може стати занадто складним для продуктивного аналізу.

Інша складність полягає в тому, що саме розуміння того, що таке раціональне поведінка, по-різному у різних людей. Те, що здається раціональним одним, може здатися не раціональним іншим, і сучасна наука часто не знає об'єктивних причин, що лежать за цими відмінностями в поведінці [28].

У зв'язку з цим теорія ігор не завжди може точно передбачити поведінку гравців в реальному ігрової ситуації або дати однозначну рекомендацію щодо прийняття рішення.

Це загальна проблема всіх формальних, модельних досліджень, не тільки в теорії ігор, а й у фізиці, економіці тощо. Проте, цінність модельних досліджень конфлікту безспірна, оскільки вони дають можливість, досліджуючи досить прості моделі, з'ясовувати основні закономірності, які лежать в основі раціональної поведінки в конфліктних ситуаціях.

Завданням теорії ігор на сучасному етапі її розвитку є не пошук єдиного рішення гри, тобто повного передбачення поведінки гравців, а, скоріше, відсікання ситуацій і способів поведінки гравців , які раціональними, розумні - ми, назвати не можна.

Формально теоретико-ігрову концепцію рішення можна уявити, як деяке відображення множини ігор на множину рішень. Це відображення може не охоплювати всі можливі гри, тобто рішення може не існувати для деяких ігор або їх класів, може бути неоднозначним, тобто ставити у відповідність деякої грі кілька рішень, які представляються розумними з точки зору цієї концепції.

Визначення будь-якої концепції рішення неможливо без будь яких припущень щодо психології гравців, того, що вони розуміють під раціональним поведінкою. По суті, будь яке таке припущення, яке дозволяє звузити безліч альтернатив в ігровій задачі вибору, визначає деяку концепцію рішення. Після цього можна говорити про формалізації концепції рішень, перевірці існування або одиничність рішення для всіх ігор або деяких класів ігор, досліджувати властивості рішень, розробляти алгоритми їх знаходження.

Самі припущення про раціональне поводження при цьому залишаються на задньому плані. Їх обґрунтування не є, на самому справі, сферою дії теорії ігор або теорії прийняття рішень, і відносяться скоріше до сфери психології, соціології та філософії.

Цей підхід був продемонстрований вище при визначенні умов, яким має задовольняти відношення переваги, щоб на його основі можна було визначити функцію корисності. Ці умови сформувалися у вигляді набору аксіом. Аналогічно можна вчинити і при формулюванні концепції рішення [38]:

Відомі на сьогоднішній день концепції рішення володіють одним з двох недоліків: яке рішення існує не для всіх ігор, або існують гри, для яких це рішення суперечить здоровому глузду. Труднощі з пошуком прийнятної загальної концепції вирішення привели до появи численних приватних концепцій, які відповідають вимогам здорового глузду, але існують лише для обмеженого класу ігор (рис.3.2). Нижче розглядаються найбільш часто використовувані в теорії ігор і в теорії прийняття рішень принципи раціональної поведінки і відповідні їм концепції рівноваги.

Стратегія $x_i \epsilon X_i$ називається строго домінуючою стратегією гравця i, якщо існує стратегія $y_i \epsilon X_i$ така, що для довільної обстановки x_{-i}, виконується нерівність

$$K_i(y_i, x_{-i}) > K_i(x_i, x_{-i}).$$

Стратегія $x_i \epsilon X_i$ називається строго недомінуючою стратегією гравця i, якщо для довільної стратегії $y_i \epsilon X_i$ знайдеться ситуація x_{-i} така, що

$$K_i(y_i, x_{-i}) \le K_i(x_i, x_{-i}).$$

Використання строго домінуючих стратегій представляється нерозумним способом поведінки, адже, незалежно від поведінки супротивників, можна отримати більший виграш, використовуючи одну з строго недомінуючих стратегій.

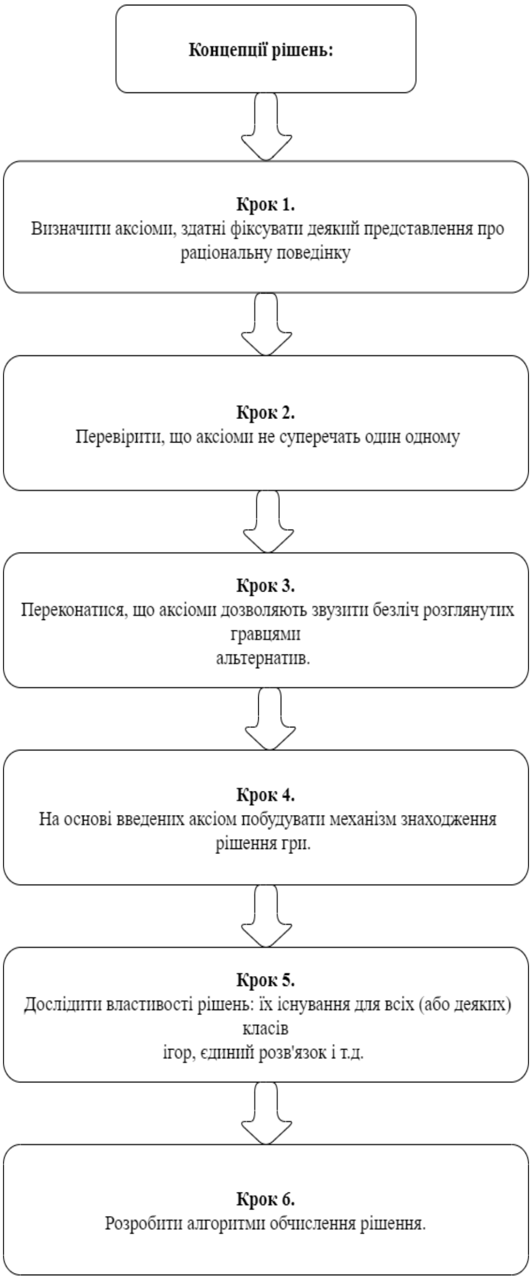


Рисунок 3.2 – Схема концепції рішень

Перше, що можна зробити для звуження більшості альтернатив гравців - це прибрати з розгляду строго домінуючі чисті стратегії. Після видалення з гри домінуючих стратегій одного з гравців може виявитися, що одна або декілька стратегій іншого гравця, не домінуючих у вихідній грі, стануть домінуючими в новій грі. Тоді процес видалення можна повторювати до тих пір, поки всі стратегії всіх гравців будуть недомінуючі.

Легко показати, що для будь-якої дискретної гри безліч строго не домінуючих стратегій для кожного гравця не пусто. Дійсно, оскільки відношення домінування транзитивне, а стратегій кінцеве число, завжди знайдеться не домінуюча стратегія.

Безліч не домінуючих стратегій не пусті і в разі нескінченних компактних множин стратегій і функцій виграшу, безперервних по всім змінним [40].

Точно так же, як для чистих стратегій, можна визначити і домінування змішаних стратегій. Одна змішана стратегія домінується іншою, якщо для довільного профілю змішаних стратегій інших гравців очікувана корисність від використання першої змішаної стратегії нижче, ніж від використання другої стратегії.

Видалення домінуючих стратегій, тим не менш, досить слабка концепція рішення, так як у багатьох практично цікавих іграх всі стратегії строго не домінуючі. Її застосування до аналізу гри виправдано на початковому етапі, коли, за рахунок виключення з розгляду домінуючих стратегій, дослідження гри спрощується.

3.5 Особливості використання критерію максимізації очікуваного виграшу та мінімізація очікуваного ризику

Ухвалення управлінських рішень передбачає наявність вибору найбільш вигідного варіанту поведінки з кількох наявних варіантів в умовах ризику або невизначеності.

Такі завдання можуть бути описані матричними іграми особливого типу, в яких гравець взаємодіє ні з іншим гравцем, а з навколишнім середовищем. В процесі прийняття рішення гравець має інформацію про декілька можливих станах навколишнього середовища і або володіє оцінками ймовірностей станів, які може прийняти навколишнє середовище в даний момент часу (тобто діє в умовах ризику), або не володіє і в цьому випадку стикається з проблемою невизначеності щодо цих станів. Подібні ігри називаються іграми з природою. Під природою розуміється вся сукупність зовнішніх обставин, в яких гравець приймає рішення. Гравець при цьому називається особою, яка приймає рішення.

Методи прийняття рішень в умовах ризику розробляються і обґрунтовуються в рамках так званої теорії статистичних рішень. При цьому коли станів природи поставлені у відповідність ймовірності, задані експертно або обчислені, рішення зазвичай приймається на основі критерію максимізації очікуваного виграшу.

Критерій максимізації очікуваного виграшу використовується, якщо задані ймовірності настання станів природи: $p_1, p_2, \dots, p_n$

Тоді оптимальної буде та стратегія, для якої досягається значення:

$$\sum_{j=1}^{n} p_j * a_{ij}, i = \underline{1, m}$$

Критерій мінімізації очікуваного ризику також використовується при заданих ймовірностей настання станів середовища. В цьому випадку оптимальною буде стратегія, для якої досягаються значення

$$\sum_{j=1}^{n} p_j * r_{ij}, i = \underline{1, m}$$

4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАСОБУ НА ОСНОВІ ДЕРЕВА РІШЕНЬ

4.1 Постановка задачі розробки програмного засобу на основі дерева рішень

Існує IT компанія з розробки програмного забезпечення в галузі автоматизованих систем. Такі автоматизовані системи складаються з Backend та Frontend модулів.

В найближчому часі IT компанія готується до реалізації крупного інвестиційного проекту в галузі сільськогосподарського та промислового виробництва. Так сталося, що інвестори збираються вкладати гроші в ті два потужні напрямки, але вагома частина фінансових вклади буде залежати від прогнозу найкращих умов отримання прибутку виробництва продукції.

Тому, для IT компанії стоїть задача спрогнозувати бажання інвесторів, що залежать від найкращих умов виробництва щодо вкладання фінансових коштів та розробити програмні модулі які будуть найбільше співпадати до реалізації двох потужних проектів.

Дані, що отримані аналітиками для розробки програмного забезпечення зі спільними окремими модулями за умови мінімального фінансового ризику втрат для IT компанії представлені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. - Кошторис розробки програмних модулів автоматизованої системи

Характеристика програмних модулів	Сільськогосподарський напрямок	Промисловий напрямок
BackEnd (кількість модулів)	1000	1400
FrontEnd(кількість модулів)	2300	700
BackEnd (ціна у тис. грн.)	20	40
FrontEnd(ціна у тис. грн.)	5	12

Таким чином проект (табл. 4.1), що належить до розробки автоматизованих систем в галузі сільськогосподарського виробництва складається з 1000 модулів що належать до BackEnd та 2300 модулів, що належать до FrontEnd. Витрати на розробку Backend модулів становлять 20 тис. гривень та 5 тис. гривень на Frontend модулі.

Проект, що належить до розробки автоматизованих систем в галузі промислового виробництва складається з 1400 модулів, що належать до Backend та 700 модулів, що належать до Frontend. Витрати на розробку Backend модулів становлять 40 тис. гривень та 12 тис. гривень на Frontend модулі.

4.2 Рішення задачі розробки програмного засобу на основі дерева рішень

Для обрання стратегії відносно вкладення інвестицій у напрямок сільськогосподарського виробництва: відносять попит цін на продукцію; погодні умови, прогнозування цін на добрива та готову продукцію, тощо. Тому, рішення задачі розробки програмного засобу на основі математичної моделі полягає в наступному.

Складемо математичну модель відповідно до таблиці 4.1, де позначено можливі стани обох стратегій (F1 та F2) як:

F1 = (1000, 2300) - створити тисячу модулів back-end та 2300 модулів front-end за ціною 20 тис. грн. та 5 тис. грн. відповідно;

F2 = (1400, 700) - створити тисячу модулів back-end та 2300 модулів front-end за ціною 40 тис. грн. та 12 тис. грн. відповідно.

Для прийняття рішення щодо вкладання інвестицій яке в даний час невідомо визначимо для стратегії напрямку сільськогосподарської виробництва продукції такі стани (D1 та D2) як:

D1 - умови для вкладання інвестицій належні;

D2 - умови для вкладання інвестицій неналежні.

Рішення задачі розробки програмного засобу на основі дерева рішень буде виконуватись наступним чином.

У випадку, якщо IT компанія прийняло стратегію F1 та попит на продукцію буде високим, тобто умови будуть належним чином створені (стан D1), то розроблені BackEnd та FrontEnd модулі будуть повністю продані інвесторам. При цьому прибуток буде складати:

W11 = 1000 * 20 = 20000 (тис. грн.)

Далі, якщо ІТ компанія прийме стратегію F2 та попит на продукцію буде таким, що створить стан D2, то розроблені BackEnd та FrontEnd будуть реалізовані тільки частково. Прибуток в цьому випадку буде складати:

W12 = 23000 * 5 = 11500 (тис. грн.)

Аналогічно, якщо ІТ компанія прийме стратегію F2 та попит на продукцію буде високим, тобто умови будуть належним чином створені (стан D1), то розроблені BackEnd та FrontEnd модулі будуть також повністю продані інвесторам. При цьому прибуток буде складати:

W21 = 1400 * 40 = 56000 (тис. грн.)

Далі, якщо ІТ компанія прийме стратегію F2 та попит на продукцію буде таким, що створить стан D2, то розроблені BackEnd та FrontEnd будуть реалізовані тільки частково. Прибуток в цьому випадку буде складати:

W22 = 700 * 12 = 8400 (тис. грн.)

Рішення задачі розробки програмного засобу на основі дерева рішень почнемо з використанням симплекс-методу. Це буде відбуватись внаслідок того, що у змішаних стратегіях прийняття рішення використовуються задачі дерева рішень. Тому, спочатку шукається сідлова точка. Якщо така точка відсутня, то видаляються доміновані рядки та стовпці матриці, а потім здійснюється пошук оптимальної стратегії прийняття рішення, тобто розрахунок матриці зводиться до задачі лінійного програмування. Для цього, знайдемо матрицю за допомогою розрахунку кошторису для кожної зі станів у стратегіях наступним чином:

	Умова D1	Умова D2
Стратегія F1	20000	11500
Стратегія F2	56000	8400

За допомогою використання методів теорії ігор будем перевіряти, чи подана платіжна матриця має сідлову точку. Якщо так, то виписуємо рішення гри у чистих стратегіях. При цьому, стратегією з прийняття рішення для випадка F1 є вибір однієї з n рядків матриці виграшів F, а чистою стратегією для прийняття рішення за наявності умов D є вибір одного зі стовпців цієї матриці.

Тому вважаємо, що існують два гравця A1 та A2 які обирають стратегії F1 та F2. При цьому, вони повинні обирати свої стратегії так, щоб гравець A1 мав отримати максимальний виграш, а гравець A2 обрав свою стратегію так, щоб мінімізувати виграш гравця A1. Відповідно до цього, з урахуванням … перепишемо матрицю наступним чином:

Гравці	B1	B2	a = min(Ai)
A1	20000	11500	11500
A2	56000	8400	**8400**
b = max(Bi)	**56000**	11500	

Далі, знаходимо гарантований виграш, який визначається нижньою ціною гри, де a = max(ai) = 11500, яка вказує на максимальну чисту стратегію A1. Верхня ціна гри буде складатиме b=min(bj)=11500.

Таким чином, сідлова точка матриці (1, 2) вказує рішення на пару альтернатив (A1, B2). Тому, ціна обраної стратегій (або гри) дорівнює 11500.

Також, можна визначити математичні моделі пари двоїстих задач лінійного програмування, що записуються наступним чином:

– для знаходження мінімуму функції F(x) при обмеженнях (для гравця A2):

$20000x1+56000x2 \geq 1$

$11500x1+8400x2 \geq 1$

$F(x) = x1+x2 \rightarrow \min$

– для знаходження максимуму функції Z(y) при обмеженнях (для гравця A1):

$20000y1+11500y2 \leq 1$

$56000y1+8400y2 \leq 1$

$Z(y) = y1+y2 \rightarrow \max$

Розв'яжемо завдання лінійного програмування симплексним методом (рис. 4.1), з використанням симплексної таблиці.

Визначимо максимальне значення цільової функції Z(Y) = y1+y2 за наступних умов-обмежень.

20000y1+11500y2≤1

56000y1+8400y2≤1

Для побудови першого опорного плану систему нерівностей наведемо до системи рівнянь шляхом запровадження додаткових змінних (перехід до канонічної формі).

20000y1+11500y2+y3 = 1

56000y1+8400y2+y4 = 1

Розв'яжемо систему рівнянь щодо базисних змінних: y3 та y4.

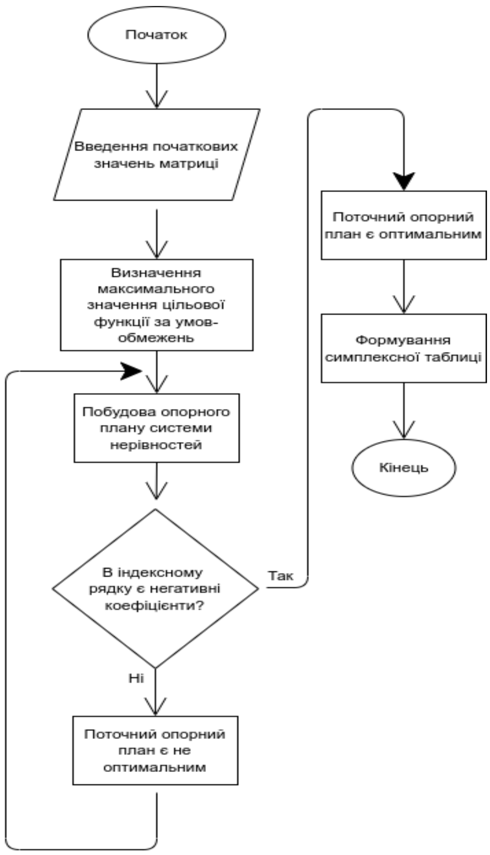


Рисунок 4.1 – Алгоритм розв’язання завдання лінійного програмування симплексним методом

Вважаючи, що вільні змінні дорівнюють 0, отримаємо перший опорний план наступним чином:

Y0 = (0,0,1,1), де отримуємо базисний план:

Базис	B	y_1	y_2	y_3	y_4
y_3	1	20000	11500	1	0
y_4	1	56000	8400	0	1
Z(Y0)	0	-1	-1	0	0

Далі, переходимо до основного алгоритму симплекс-метода, де визначимо ітерацію №0 наступним чином. За розрахунками поточний опорний план є не оптимальним, тому що в індексному рядку є негативні коефіцієнти.

Тому, в якості провідного стовпчика виберемо, відповідний до змінної y2, так як це максимальний коефіцієнт по модулю.

Обчислимо значення Di за рядками як окреме від розподілу: bi / ai2

та і з них виберемо найменше:

min (1: 11500, 1: 8400) = 1/11500

Отже, перший рядок є провідним.

Роздільний елемент дорівнює (11500) і знаходиться на перетині провідного стовпця та провідного рядка. Отримуємо:

Базис	B	y1	y2	y3	y4	min
y3	1	20000	11500	1	0	1/11500
y4	1	56000	8400	0	1	1/8400
Z(Y1)	0	-1	-1	0	0	

Далі, формуємо наступну частину симплексної таблиці. Замість змінної y3 до плану 1 увійде змінна y2.

При цьому, отримуємо нову симплекс-таблицю:

Базис	B	y1	y2	y3	y4
y2	1/11500	40/23	1	1/11500	0
y4	31/115	952000/23	0	-84/115	1
Z(Y1)	1/11500	17/23	0	1/11500	0

Далі, підводимо підсумки проведення поточної ітерації, який полягає в тому, що індексний рядок не містить негативних елементів. Це означає, що знайдено оптимальний план.

Таким чином, серед значень індексного рядка немає негативних. Тому ця таблиця визначає оптимальний план задачі.

Остаточний варіант симплекс-таблиці виглядає наступним чином:

Базис	B	y1	y2	y3	y4
y2	1/11500	40/23	1	1/11500	0
y4	31/115	952000/23	0	-84/115	1
Z(Y2)	1/11500	17/23	0	1/11500	0

Оптимальний план можна записати наступним чином:

y1 = 0, y2 = 1/11500

Z(Y) = 1 * 0 + 1 * 1/11500 = 1 / 11500

Однак, в даній задачі, використовуючи останню ітерацію прямої задачі можна знайти оптимальний план двоїстої задачі:

x1 = 1/11500, x2 = 0

Це рішення можна отримати, якщо застосовувати теорему двоїстості.

З теореми двоїстості випливає, що $X = C * A^{-1}$.

Отже, складемо матрицю A з компонентів векторів, що входять до оптимального базису наступним чином:

A = (A2, A4) =

11500	0
8400	1

Визначивши зворотну матрицю як $D = A^{-1}$ через доповнення алгебри, отримаємо:

$D = A^{-1}$ =

1/11500	0
-84/115	1

Як видно з останнього плану симплексної таблиці, зворотна матриця A^{-1} розташована в стовпцях додаткових змінних.

Тоді X = C * A-1 =

(1, 0) x

1/11500 0

-84/115 1

= (1/11500; 0)

Також, можливо визначити оптимальний план двоїстого завдання, який буде дорівнювати:

x_1 = 1/11500, x_2 = 0

F(X) = 1*1/11500+1*0 = 1/11500

При цьому, ціна гри дорівнюватиме g = 1/F(x), а ймовірності застосування стратегій гравців будуть такі:

$q_i = g * y_i$; $p_i = g * x_i$.

Ціна гри: g = 1 : 1/11500 = 11500

p_1 = 11500 * 1/11500 = 1

p_2 = 11500 * 0 = 0

Оптимальна змішана стратегія гравця A1: P = (1; 0)

q_1 = 11500 * 0 = 0

q_2 = 11500 * 1/11500 = 1

Оптимальна змішана стратегія гравця A2: Q = (0; 1)

Таким чином, ціна гри: v = 11500

Далі, перевіряємо правильність вирішення гри за допомогою критерію оптимальності стратегії.

$\sum a_{ij}q_j \le v$

$\sum a_{ij}p_i \ge v$

M(P1; Q) = (20000 * 0) + (11500 * 1) = 11500 = v

M(P2;Q) = (56000*0) + (8400*1) = 8400 ≤ v

M(P;Q1) = (20000*1) + (56000*0) = 20000 ≥ v

M(P;Q2) = (11500 * 1) + (8400 * 0) = 11500 = v

Таким чином, всі нерівності виконуються як рівності чи суворі нерівності, отже, рішення гри знайдено правильно.

Також, можна визначати оптимальну стратегію за методом Брауна-Робінсона. Нехай гра задана матрицею розмірності A m x n. Кожне розігрування гри в чистих стратегіях буде називатись партією. Метод Брауна-Робінсон - це ітеративна процедура побудови послідовності пар змішаних стратегій гравців, що сходить до вирішення матричної гри.

Так, у першій партії обидва гравці вибирають довільну чисту стратегію. Тому, нехай зіграно k партій, причому вибір стратегії в кожній партії запам'ятовується. У (k+1)-ій партії кожен гравець вибирає ту чисту стратегію, яка максимізує його очікуваний виграш, якщо противник грає відповідно до емпіричного імовірнісного розподілу, що сформувався за k партій. Далі оцінюється інтервал ціни. Якщо такий інтервал досить малий, то процес зупиняється. Отримані у своїй імовірнісні розподіли визначають змішані стратегії гравців.

Нехай на першому етапі обрано стратегію, яка позначається наступним чином:

k	i	B_1	B_2	j	A_1	A_2	V_{min}	V^{max}	V_{cp}

де:

k – номер партії.

i - номер стратегії, яку вибирає гравець A.

j - номер стратегії, яку вибирає гравець B.

Bi - накопичений гравцем A виграш за k партій, за умови, що у цій партії B вибирає стратегію Bi.

Aj – накопичений гравцем У програш за k партій, за умови, що в цій партії A вибирає стратегію Aj.

Vmin – нижня оцінка гри = min (накопичений виграш)/k.

Vmax – верхня оцінка гри = max (накопичений програш)/k.

Доведено, що:

W=(Vmin+Vmax)/2, при $k \to \infty$ та

pi = Ni/k

qj = Nj/k

Ni – скільки разів обирається Ai стратегія.

Nj – скільки разів обирається Bj стратегія.

NA1 = 0

P(A1) = 0/0 = 1

NA2 = 0

P(A2) = 0/0 = 1

NB1 = 0

P(B3) = 0/0 = 1

NB2 = 0

P(B3) = 0/0 = 1

Ціна гри, W = Vcp

Стратегія для гравця A1: p = (1, 1)

Стратегія для гравця A2: q = (1, 1)

При цьому, можливо вирішити задачу геометричним методом (рис. 3.1), який включає наступні етапи:

1. У декартовій системі координат по осі абсцис відкладається відрізок, довжина якого дорівнює 1. Лівий кінець відрізка (точка x = 0) відповідає стратегії A1, правий – стратегії A2 (x = 1). Проміжні точки x відповідають ймовірності деяких змішаних стратегій S1 = (p1, p2).

2. На лівій осі ординат відкладаються виграші стратегії A1. На лінії паралельної осі ординат з точки 1 відкладаються виграші стратегії A2.

Розв'язання гри (2 x 2) проводимо з позиції гравця A, який дотримується максимальної стратегії. Домінуючих та дублюючих стратегій у жодного з гравців немає.

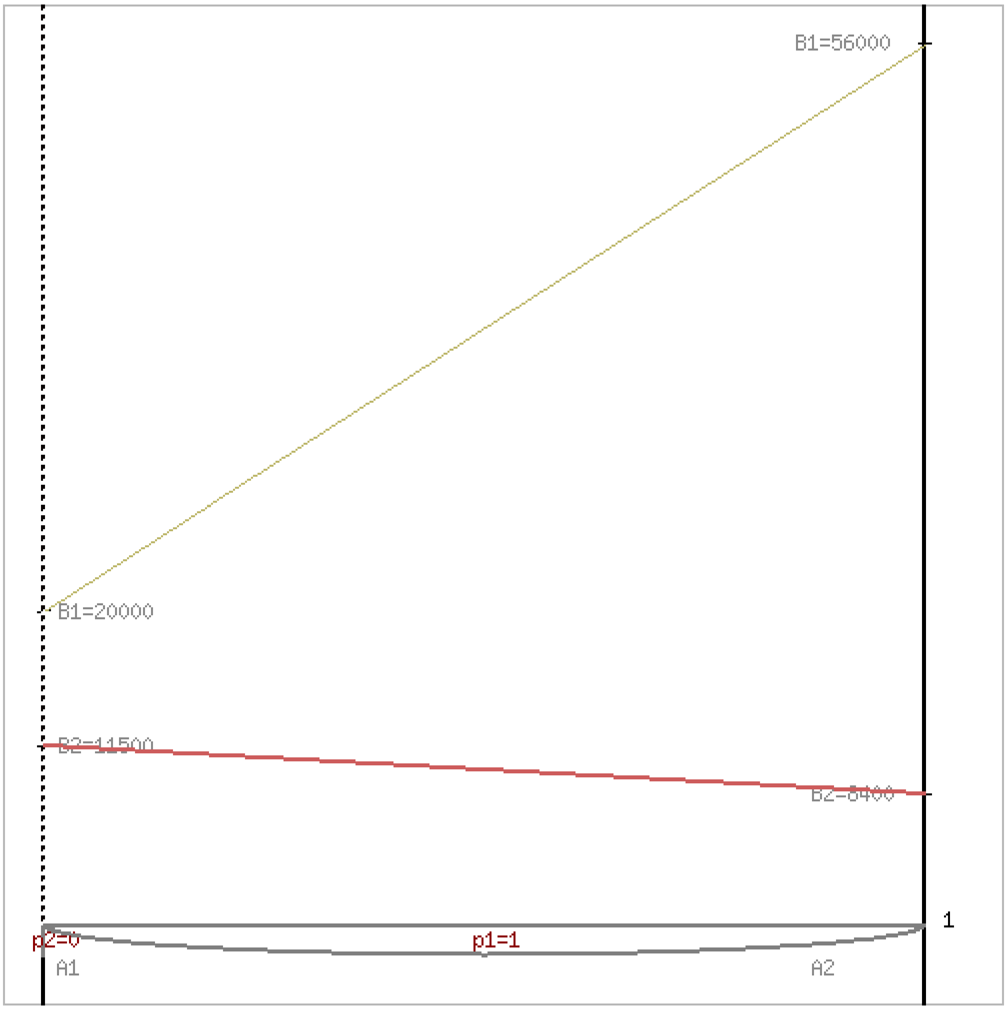


Рисунок 4.2 – Геометричний метод рішення задачі

Максимальної оптимальної стратегії гравця А відповідає точка N, для якої можна записати таку систему рівнянь:

p1 = 1

p2 = 0

При цьому, можна визначити ціну гри, де y = 11500 (позначено червоним кольором на графіку 4.2).

Тепер можна знайти мінімальну стратегію гравця В, написавши відповідну систему рівнянь, де:

q1 = 0.

q2 = 1.

Тому, Q(0, 1), P(1, 0)

4. Перевіряємо правильність вирішення гри за допомогою критерію оптимальності стратегії:

$\sum a_{ij} q_j \leq v$

$\sum a_{ij} p_i \geq v$

M(P1; Q) = (20000 * 0) + (11500 * 1) = 11500 = v

M(P2;Q) = (56000*0) + (8400*1) = 8400 ≤ v

M(P;Q1) = (20000*1) + (56000*0) = 20000 ≥ v

M(P;Q2) = (11500 * 1) + (8400 * 0) = 11500 = v

Таким чином, під час використання графічного методу можна визначити, що всі нерівності виконуються як рівності чи суворі нерівності. Отже, рішення гри знайдено правильно.

4.3 Реалізація контрольного прикладу з розробки програмного засобу

Мета розробки контрольного прикладу полягає в тому, що на основі математичної моделі з прийняття оптимального рішення обрати найкращу стратегію з розробки спільних програмних модулів автоматизованої системи, яка для початкових умов, що запропонована аналітиками буде мати мінімальні фінансові збитки для IT компанії.

Відповідно до алгоритму (рис. 4.1) виконуємо розробку програмного засобу на мові високого рівня Java. Спочатку описуємо графічні бібліотеки:

import static javax.swing.JOptionPane.;*

Потім, описуємо клас програмного додатку та його основний метод main:

```
class SimplexTable {
  public static void main(String[] args) {
```

Далі, описуємо локальні зміни, що будуть використовуватись всередині основного класу:

```
    String recviziti, maxznach, oporniyplan;
    String koeff;
    int ikoeff;
```

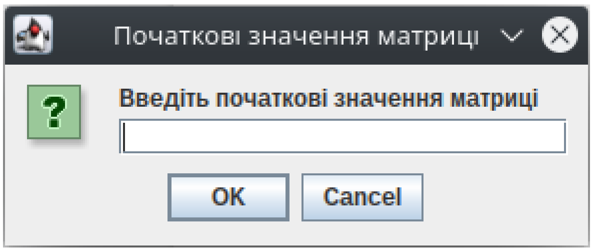
boolean endcikle = false;

При цьому, основними локальним змінними основного класу є змінні строкового типу, цілі та булеві змінні. Далі забезпечуємо діалогу з користувачем, де визначаємо початкові значення матриці:

recviziti = showInputDialog(null, "Введіть початкові значення матриці",

"Початкові значення матриці",

QUESTION_MESSAGE);

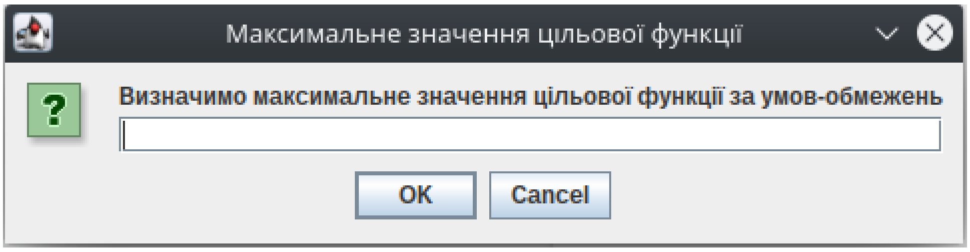


Далі, визначаємо та обчислюємо максимальне значення цільової функції, де вводимо умови-обмеження:

maxznach = showInputDialog(null, "Визначимо максимальне значення цільової функції за умов-обмежень",

"Максимальне значення цільової функції",

QUESTION_MESSAGE);



Максимальне значення цільової функції визначаємо за допомогою методу calculateMaxZnach():

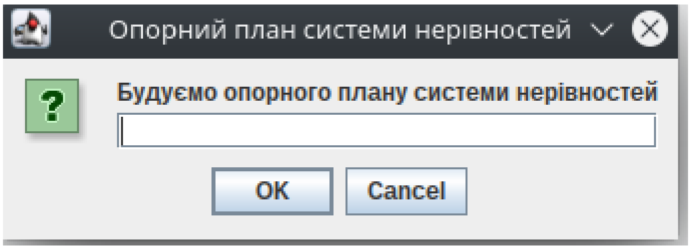
maxznach = calculateMaxZnach();

Далі, починаємо цикл, поки не буде отримані результати позитивних коефіцієнтів симплексної таблиці. При цьому, використовуємо булеву змінну endcikle:

do {

Після входження до циклу будуємо опорного плану системи нерівностей за допомогою обчислення методом calculateOporniyPlan:

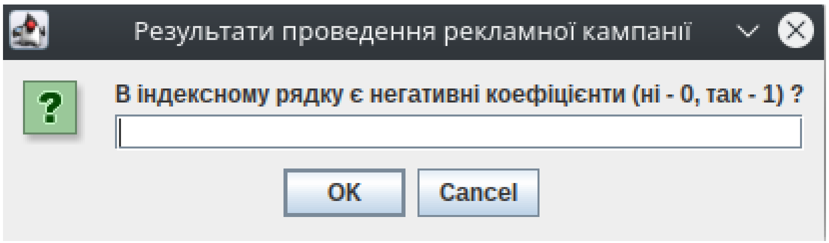
```
oporniyplan = showInputDialog(null, "Будуємо опорного плану системи нерівностей",
    "Опорний план системи нерівностей",
    QUESTION_MESSAGE);
```




```
oporniyplan = calculateOporniyPlan();
```

Далі, визначаємо негативні коефіцієнти, які можуть бути в індексному рядку:

```
koeff = showInputDialog(null, "В індексному рядку є негативні коефіцієнти (ні - 0, так - 1) ?",
    "Результати проведення рекламної кампанії",
    QUESTION_MESSAGE);
ikoeff = Integer.parseInt(koeff);
```



Якщо існують негативні коефіцієнти в індексному рядку, то продовжуємо обробку даних, якщо ні - завершуємо цикл та виводимо на екран певне повідомлення:

```
if (ikoeff == 1)
  System.out.println("Поточний опорний план є не оптимальним");
else
  endcikle = true;
```

```
} while(endcikle);
```

Після виходу з циклу виводимо повідомлення про те, що поточний опорний план є оптимальним та завершуємо роботу програмного засобу:

```
System.out.println("Поточний опорний план є оптимальним");
}
```

Також, розроблений програмний засіб має два методи, які обчислюють максимальне значення цільової функції для певних умов обмеження та опорний план:

```
public static String calculateMaxZnach() {
// Використання "заплаток"
  String varmaxznach;
  varmaxznach = "1";
...
  return varmaxznach;
}
public static String calculateOporniyPlan() {
// Використання "заплаток"
  String varoporniyplan;
  varoporniyplan = "2";
...
  return varoporniyplan;
}
```

Таким чином, виконується розробка контрольного прикладу з розробки програмного засобу.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Виконання науково-дослідної роботи завжди передбачає отримання певних результатів і вимагає відповідних витрат. Результати виконаної роботи завжди дають нам нові знання, які в подальшому можуть бути використані для удосконалення та/або розробки (побудови) нових, більш продуктивних зразків техніки, процесів та програмного забезпечення.

Дослідження на тему «Методи та програмні засоби вибору найкращої стратегії з розробки програмних засобів в ІТ-компанії» може бути віднесено до фундаментальних і пошукових наукових досліджень і спрямоване на вирішення наукових проблем, пов’язаних з практичним застосуванням.

Для цього випадку виконаємо такі етапи робіт:

1) здійснимо проведення наукового аудиту досліджень, тобто встановлення їх наукового рівня та значимості;

2) проведемо планування витрат на проведення наукових досліджень;

3) здійснимо розрахунок рівня важливості наукового дослідження та перспективності, визначимо ефективність наукових досліджень.

5.1 Оцінювання наукового ефекту

Основними ознаками наукового ефекту науково-дослідної роботи є новизна роботи, рівень її теоретичного опрацювання, перспективність, рівень розповсюдження результатів, можливість реалізації. Науковий ефект НДР на тему «Методи та програмні засоби вибору найкращої стратегії з розробки програмних засобів в ІТ-компанії» можна охарактеризувати двома показниками: ступенем наукової новизни та рівнем теоретичного опрацювання.

Значення показників ступеня новизни і рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи в балах наведені в табл. 5.1 та 5.2.

Таблиця 5.1 – Показники ступеня новизни науково-дослідної роботи виставлені експертами

Ступінь новизни	Характеристика ступеня новизни	Значення ступеня новизни, бали Експерти (ПІБ, посада)		
		1	2	3
Принципово нова	Робота якісно нова за постановкою задачі і ґрунтується на застосуванні оригінальних методів дослідження. Результати дослідження відкривають новий напрям в даній галузі науки і техніки. Отримані принципово нові факти, закономірності; розроблена нова теорія. Створено принципово новий пристрій, спосіб, метод	-	60	-
Нова	Отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних значень (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту). Проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів	58	-	55
Відносно нова	Робота має елементи новизни в постановці задачі і методах дослідження. Результати дослідження систематизують і узагальнюють наявну інформацію, визначають шляхи подальших досліджень; вперше знайдено зв’язок (або знайдено новий зв’язок) між явищами. В принципі відомі положення розповсюджені на велику кількість об’єктів, в результаті чого знайдено ефективне рішення. Розроблені більш прості способи для досягнення відомих результатів. Проведена часткова раціональна модифікація (з ознаками новизни)	-	-	-
Традиційна	Робота виконана за традиційною методикою. Результати дослідження мають інформаційний характер. Підтверджені або поставлені під сумнів відомі факти та твердження, які потребують перевірки. Знайдено новий варіант рішення, який не дає суттєвих переваг в порівнянні з існуючим	-	-	-

Не нова	Отримано результат, який раніше зафіксований в інформаційному полі, та не був відомий авторам	-	-	-
Середнє значення балів експертів		57,7		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів ступінь новизни характеризується як нова, тобто отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних знань (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту) та проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів.

Таблиця 5.2 – Показники рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи виставлені експертами

Характеристика рівня теоретичного опрацювання	Значення показника рівня теоретичного опрацювання, бали		
	Експерт (ПІБ, посада)		
		2	3
Відкриття закону, розробка теорії	-	-	-
Глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв’язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу	-	62	60
Розробка способу (алгоритму, програми), пристрою, отримання нової речовини	56	-	-
Елементарний аналіз зв’язків між фактами та наявною гіпотезою, класифікація, практичні рекомендації для окремого випадку тощо	-	-	-
Опис окремих елементарних фактів, викладення досвіду, результатів спостережень, вимірювань тощо	-	-	-
Середнє значення балів експертів	59,3		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів рівень теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи характеризується як розробка способу (алгоритму, програми), пристрою, отримання нової речовини.

Показник, який характеризує рівень наукового ефекту, визначаємо за формулою [42]:

$$E_{нау} = 0,6 \cdot k_{нов} + 0,4 \cdot k_{теор}, \quad (5.1)$$

де $k_{нов}, k_{теор}$ - показники ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи, $k_{нов} = 57{,}7, k_{теор} = 59{,}3$ балів;

0,6 та 0,4 – питома вага (значимість) показників ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи.

$$E_{нау} = 0,6 \cdot k_{нов} + 0,4 \cdot k_{теор} = 0{,}6 \cdot 57{,}7 + 0{,}4 \cdot 59{,}33 = 58{,}33 \text{ балів.}$$

Визначення характеристики показника $E_{нау}$ проводиться на основі висновків експертів виходячи з граничних значень, які наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Граничні значення показника наукового ефекту

Досягнутий рівень показника	Кількість балів
Високий	70…100
Середній	50…69
Достатній	15…49
Низький (помилкові дослідження)	1…14

Відповідно до визначеного рівня наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Методи та програмні засоби вибору найкращої стратегії з розробки програмних засобів в ІТ-компанії», даний рівень становить 58,33 балів і відповідає статусу - середній рівень. Тобто у даному випадку можна вести мову про потенційну фактичну ефективність науково-дослідної роботи.

5.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи

Витрати, пов’язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Методи та програмні засоби вибору найкращої стратегії з розробки програмних засобів в ІТ-компанії», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

5.2.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників ($З_o$) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою **[42]**:

$$З_o = \sum_{i=1}^{k} \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \tag{5.2}$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, грн;

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, T_p=22 дні.

$$З_o = 12400{,}00 \cdot 18 / 22 = 10145{,}45 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.4 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Керівник науково-дослідної роботи	12400,00	563,64	18	10145,45
Науковий співробітник	10160,00	461,82	11	5080,00
Консультант (аналітик	12350,00	561,36	10	5613,64

системи стратегічного менеджменту ІТ компанії)				
Інженер-розробник ПЗ	10200,00	463,64	8	3709,09
Технік	7250,00	329,55	11	3625,00
Всього				28173,18

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників ($З_p$) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Методи та програмні засоби вибору найкращої стратегії з розробки програмних засобів в ІТ-компанії» розраховуємо за формулою:

$$З_p = \sum_{i=1}^{n} C_i \cdot t_i , \tag{5.3}$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

t_i – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}} , \tag{5.4}$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), приймемо $Мм$=2379,00 грн;

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду **[42]**;

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об’єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно T_p = 22 дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

C_1 = 2379,00 · 1,10 · 1,65 / (22 · 8) = 24,53 *грн.*
$З_{р1}$ = 24,53 · 8,00 = 196,27 *грн.*

Таблиця 5.5 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника грн
Установка обладнання для проведення пошукових робіт	8,00	2	1,10	24,53	196,27
Підготовка робочого місця наукового співробітника	5,00	3	1,35	30,11	150,55
Підготовка робочого місця інженера-розробника програмних засобів	4,50	4	1,50	33,45	150,55
Інсталяція програмного забезпечення для моделювання та розробки	6,00	4	1,50	33,45	200,73
Всього					698,09

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 … 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$З_{дод} = (З_о + З_р) \cdot \frac{Н_{дод}}{100\%}, \tag{5.5}$$

де $Н_{дод}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Приймемо 12%.

$З_{дод}$ *= (28173,18 + 698,09) · 12 / 100% = 3464,55 грн.*

5.2.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою:

$$З_н = (З_о + З_р + З_{дод}) \cdot \frac{Н_{зп}}{100\%} \quad (5.6)$$

де $Н_{зп}$ – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

Зн = (28173,18 + 698,09 + 3464,55) · 22 / 100% = 7113,88 грн.

5.2.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою «Методи та програмні засоби вибору найкращої стратегії з розробки програмних засобів в ІТ-компанії».

Витрати на матеріали на даному етапі проведення досліджень в основному пов'язані з використанням моделей елементів та моделювання роботи і досліджень за допомогою комп'ютерної техніки та створення експериментальних математичних моделей або програмного забезпечення, тому дані витрати формуються на основі витратних матеріалів характерних для офісних робіт.

Витрати на матеріали (*M*), у вартісному виражені розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{j=1}^{n} Н_j \cdot Ц_j \cdot К_j - \sum_{j=1}^{n} В_j \cdot Ц_{в j}\ , \quad (5.7)$$

де $Н_j$ – норма витрат матеріалу *j*-го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

$Ц_j$ – вартість матеріалу *j*-го найменування, грн/кг;

$К_j$ – коефіцієнт транспортних витрат, ($К_j = 1,1 \ldots 1,15$);

$В_j$ – маса відходів *j*-го найменування, кг;

$Ц_{вj}$ – вартість відходів *j*-го найменування, грн/кг.

$M_1 = 3{,}00 \cdot 112{,}00 \cdot 1{,}1 - 0{,}000 \cdot 0{,}00 = 369{,}60$ *грн.*

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.6 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Офісний папір Gemix A4 500	112,00	3,00	-	-	369,60
Папір для записів MIX 65 A5	36,00	5,00	-	-	198,00
Органайзер офісний	127,00	2,00	-	-	279,40
Набір офісний Base OFF	212,00	3,00	-	-	699,60
Картридж для принтера	910,00	1,00	-	-	1001,00
Диск оптичний TIMA CD	15,50	3,00	-	-	51,15
Flesh-пам'ять GOODRAM 32 GB	260,00	1,00	-	-	286,00
Всього					2884,75

5.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі *($К_в$)*, які використовують при проведенні НДР на тему «Методи та програмні засоби вибору найкращої стратегії з розробки програмних засобів в ІТ-компанії» відсутні.

5.2.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення. В даній дослідній роботі витрати на спец устаткування відсутні.

5.2.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних) необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою:

$$B_{прг} = \sum_{i=1}^{k} Ц_{iпрг} \cdot C_{прг.i} \cdot K_i \ , \qquad (4.10)$$

де $Ц_{iпрг}$ – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{прг.i}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ($K_i = 1{,}10 \ldots 1{,}12$);

k – кількість найменувань програмних засобів.

$B_{прг} = 17860{,}00 \cdot 1 \cdot 1{,}11 = 19824{,}60$ *грн.*

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 5.9 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Прикладний пакет стратегічного управління Management Project Expert Plus	1	17860,00	19824,60

Всього	19824,60

5.2.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{обл} = \frac{Ц_б}{T_в} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (5.11)$$

де $Ц_б$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_в$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$A_{обл} = (20570,00 \cdot 1) / (2 \cdot 12) = 857,08$ *грн.*

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.10 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Персональний комп'ютер Expert Pro X2	20570,00	2	1	857,08
Персональний комп'ютер Expert Base X3	16900,00	2	1	704,17
Робоче місце інженера-програміста	7400,00	5	1	123,33
Робоче місце наукового співробітника	6800,00	5	1	113,33
Системи обміну інформацією	6800,00	4	1	141,67
Оргтехніка	8925,00	4	1	185,94

Приміщення дослідного центру	300000,00	25	1	1000,00
ОС Windows 11	7410,00	3	1	205,83
Прикладний пакет Microsoft Office 2019	6900,00	3	1	191,67
Інженерне математичне програмне забезпечення систем автоматизованого проєктування Mathcad 15	8700,00	3	1	241,67
Всього				3764,69

5.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^{n} \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot Ц_e \cdot K_{впi}}{\eta_i}, \tag{5.12}$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

$Ц_e$ – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), приймемо $Ц_е$ = 4,50 грн;

$K_{впi}$ – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{впi} <1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i<1$.

$B_e = 0,45 \cdot 130,0 \cdot 4,50 \cdot 0,95 / 0,97 = 263,25$ *грн.*

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.11 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Персональний комп'ютер Expert Pro X2	0,45	130,0	263,25

Персональний комп'ютер Expert Base X3	0,25	110,0	123,75
Робоче місце інженера-програміста	0,12	110,0	59,40
Робоче місце наукового співробітника	0,12	110,0	59,40
Системи обміну інформацією	0,05	80,0	18,00
Оргтехніка	0,70	12,0	37,80
Всього			561,60

5.2.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Методи та програмні засоби вибору найкращої стратегії з розробки програмних засобів в ІТ-компанії» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов’язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з’їзди, конференції, наради, пов’язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» відсутні.

5.2.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» відсутні.

5.2.11 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50…100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$I_в = (З_о + З_р) \cdot \frac{Н_{ів}}{100\%}, \tag{5.15}$$

де $Н_{ів}$ – норма нарахування за статтею «Інші витрати», приймемо $Н_{ів}$ = 65%.

$I_в$ = (28173,18 + 698,09) · 65 / 100% = 18766,33 грн.

5.2.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов’язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов’язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов’язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100…150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{нзв} = (З_о + З_р) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%} \,, \qquad (5.16)$$

де $H_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», приймемо $Н_{нзв}$ = 120%.

$В_{нзв}$ = (28173,18 + 698,09) · 120 / 100% = 34645,52 грн.

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Методи та програмні засоби вибору найкращої стратегії з розробки програмних засобів в ІТ-компанії» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою:

$$B_{заг} = З_о + З_р + З_{дод} + З_н + M + K_в + B_{спец} + B_{прг} + A_{обл} + B_е + B_{св} + B_{сп} + I_в + B_{нзв} \,. \qquad (5.17)$$

$В_{заг}$= 28173,18 +698,09 +3464,55 +7113,880837 +2884,75 +0,00 +0,00 + 19824,60 + 3764,69 +561,60 +0,00 +0,00 +18766,33 +34645,52 = 119897,19 грн.

Загальні витрати *ЗВ* на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою:

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\eta} \,, \qquad (5.18)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, приймемо η=0,95.

ЗВ = 119897,19 / 0,95 = 126207,57 грн.

5.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи

Оцінювання та доведення ефективності виконання науково-дослідної роботи фундаментального чи пошукового характеру є достатньо складним процесом і часто базується на експертних оцінках, тому має вірогідний характер.

Для обґрунтування доцільності виконання науково-дослідної роботи на тему «Методи та програмні засоби вибору найкращої стратегії з розробки програмних засобів в ІТ-компанії» використовується спеціальний комплексний показник, що враховує важливість, результативність роботи, можливість впровадження її результатів у виробництво, величину витрат на роботу.

Комплексний показник K_P рівня науково-дослідної роботи може бути розрахований за формулою:

$$K_P = \frac{I^n \cdot T_C \cdot R}{B \cdot t}, \tag{5.19}$$

де I – коефіцієнт важливості роботи. Приймемо $I = 4$;

n– коефіцієнт використання результатів роботи; $n = 0$, коли результати роботи не будуть використовуватись; $n = 1$, коли результати роботи будуть використовуватись частково; $n = 2$, коли результати роботи будуть використовуватись в дослідно-конструкторських розробках; $n = 3$, коли результати можуть використовуватись навіть без проведення дослідно-конструкторських розробок. Приймемо n=2;

T_C – коефіцієнт складності роботи. Приймемо $T_C = 2$;

R – коефіцієнт результативності роботи; якщо результати роботи плануються вище відомих, то $R = 4$; якщо результати роботи відповідають відомому рівню, то $R = 3$; якщо нижче відомих результатів, то $R = 1$. Приймемо $R = 3$;

B – вартість науково-дослідної роботи, тис. грн. Приймемо B =126207,57 грн;

t – час проведення дослідження. Приймемо t = 0,08 років, (1 міс.).

Визначення показників *I, n, T_C, R, B, t* здійснюється експертним шляхом або на основі нормативів [42].

$$K_P = \frac{I^n \cdot T_C \cdot R}{B \cdot t} = 4^2 \cdot 2 \cdot 3 \,/\, 126 \cdot 0{,}08 = 9{,}13.$$

Якщо $K_P > 1$, то науково-дослідну роботу на тему «Методи та програмні засоби вибору найкращої стратегії з розробки програмних засобів в IT-компанії» можна вважати ефективною з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

ВИСНОВКИ

У першому розділі магістерській кваліфікаційній роботі проведено аналіз сучасного стану методів і засобів вибору найкращої стратегії з прийняття рішень, де були розглянуті моделі прийняття рішень на основі теорії ігор. При цьому було відзначено, що комп'ютерне моделювання є ефективним засобом для виборі найкращої стратегії та управлінських рішень. З безлічі варіантів рішень в кожній конкретній ситуації економіко-математичні моделі дозволяють без перебору всіх можливих варіантів знаходити при заданих умовах оптимальний, тобто найкращий варіант. Його особливості в області маркетингу визначаються завданнями і функціями цієї сфери діяльності підприємств і фірм в умовах ринкової економіки. Застосування комп'ютерів прискорює обчислювальний процес. Вони швидко роблять необхідні перетворення економічної інформації, забезпечуючи переробку величезних потоків інформації.

Відповідно до індивідуального раціонального вибору на основі прийняття рішень були розглянуті гіпотези індивідуального раціонального вибору на основі прийняття рішень, що поділялись на категорії та вимагали використання таких понять як «використання всієї наявною інформацією» і «найкращі результати діяльності».

Також, в цьому розділі були розглянуті питання сучасного стану методів управління вибором найкращої стратегії та технології управління організаційними системами для вибору найкращої стратегії.

Другий розділ був присвячений моделям вибору найкращої стратегії з прийняття рішень на основі теорії ігор де були розглянуті класифікація елементів теорії ігор, моделі рівноваги в домінантних стратегіях, модель суб'єктивної рівноваги, модель оптимальності по Парето, модель кооперативних ігор.

Вивчення питань загальної концепції рішень у кооперативних іграх показало, що в даній галузі знань поки не існує єдиної концепції рішення. Це пов'язано з тим, що в початковій стадії розвитку теорії були розроблені досить прості моделі ігор, які легко піддаються аналізу, і, відповідно, прості концепції рішень, такі, як С-ядро і НМ-рішення. У міру розвитку теорії встав питання про практичного застосування отриманих результатів. Для того щоб наблизити теорію до прикладів ігор, що зустрічаються в житті, були розроблені більш складні моделі, наприклад, ігри з нетрансферабельною корисністю, ігри «в розбиття» і ін. Паралельно з'являлися як узагальнення поняття рішення на ці більш складні моделі, так і нові концепції рішень.

В третьому розділі були показані структурні особливості розробки моделей вибору найкращої стратегії у теорії ігор, де були визначені гри в розгорнутій структурній формі. Показані структурні особливості розробки моделей з прийняття рішень та структурні особливості некооперативних ігор, подана концепції розробки структур моделей вибору найкращої стратегії та показані особливості використання критерію максимізації очікуваного виграшу та мінімізація очікуваного ризику.

В четвертому розділі виконана розробка програмного засобу на основі дерева рішень. Створена постановка задачі розробки програмного засобу на основі дерева рішень та визначено рішення задачі розробки програмного засобу на основі дерева рішень.

Показано розв'язок поставленої задачі за допомогою алгоритму розв’язання завдання лінійного програмування симплексним методом, створено програмний засіб з контрольного прикладу рішення задачі вибору найкращої стратегії з розробки програмних засобів у ІТ-компанії.

В економічній частині визначено що витрати на проведення науково-дослідної роботи складають 126207,57 грн. Відповідно до проведеного аналізу та розрахунків рівень наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи є середній, а дослідження актуальними, рівень доцільності виконання науково-дослідної роботи $K_P > 1$, що свідчить про потенційну ефективність з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Mas-Collel A., Whinston M.D., Green J.R. Microeconomic theory. N.Y.: Oxford Univ. Press, 1995. – 981 p.

2. Myerson R.B. Game theory: analysis of conflict. London: HarvardUniv. Press, 1991. – 568 p.

3. Губко М.В., Новиков Д.А. Теория игр в управлении организационными системами. М.: Синтег, 2002. – 148 с.

4. Jehiel P., Moldovanu B., Staccheti E. How (not) to Sell Nuclear Weapons // The American Economic Review. 1996.V. 86. № 4. P. 814–829.

5. Novikov D.A. Management of active systems: stability or efficiency //Systems science. 2001. Vol. 26. № 2. P.85-93.

6. Ross A.E. Game-theoretic models of bargaining. Cambridge: CambridgeUniversity Press, 1988.

7. Shubik M. Game theory in the social sciences: concepts and solutions.Massachusetts: MIT Press, 1991.

8. Aumann R.J. Lectures on Game Theory. – San Francisco: Westview Press, 1989. – 120 с.

9. Dixit A., Nalebuff B. Thinking Strategically: The Competitive Edge in Business, Politics and Everyday Life. – N.Y.: Norton, 1991. – 394 с.

10. Фон Неман Дж., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. – М.: Наука, 1970. – 708 с.

11. Gibbons R. Game Theory for Applied Economists. – Princeton: Princeton University Press, 1992. – 268 p.

12. Данилов В.И. Лекции по теории игр. /КЛ./2002/001. – М.: РЭШ, 2002. – 140 с.

13.Шиян А.А. Економічна кібернетика: вступ до моделювання соціальних і економічних систем: Навчальний посібник. – Львів: «Магнолія 2006». – 2007. – 228 с.

14. Acemoglu, D., Robinson, J. A., Economic Origins of Dictatorship and Democracy. - Cambridge. - Cambridge University Press, Cambridge. - 2006. – 416 p.

15. Acemoglu, D. Introduction to Modern Economic Growth. – Princeton: Princeton University Press, 2009. – 1072 p.

16. Persson T., Tabellini G. Political Economics: Explaining Economic Policy. - Cambridge, MA: MIT Press, 2000. – 533 p.

17. Bolton P. Dewatripont M. Contract Theory. – Cambridge: MIT Press, 2005. – 724 p.

18. Grossman G.M., Helpman E. Special Interest Politics. — Cambridge, MA: MIT Press. – 2002. — 380 p.

19. Геєць В.М. Інституційні перетворення і суспільний розвиток // Економіка і прогнозування. - 2005. - №2.- С. 9-36.

20. Катренко, А. В. Дослідження операцій [Текст]: підруч. / А. В. Катренко. – Л : «Магнолія – 2006», 2009. – 352 с.

21. Оптимізаційні методи та моделі : підручник / В.С. Григорків, М.В. Григорків. – Чернівці: Чернівецький нац. ун-т, 2016. – 400 с.

22. Синєглазов В. М. Математичні методи оптимізації: навч. посібн./ В.М. Синєглазов, О. А. Зеленков, Ш. І. Аскеров. – Нац. Авіаційний ун-т. – К.: Освіта України, 2018. – Ч. 1. – 329 с.

23. Захаров А.В. Теория игр в общественных науках: учебник для вузов – М.: Изд. Дом Высшей школы экономики, 2015.

24. Теория игр. Искусство мышления в бизнесе и жизни / Авинаш Диксит и Барри Нейлбафф; пер. англ. Н. Яцюк.- М.: Манн, Иванов и Фербер, 2015.– 464 с.

25. Бех, О. В. Математичне програмування [Текст]: навч. посіб. / О. В. Бех., Т. А. Городня, А. Ф. Щербак. – Л.: «Магнолія – 2006», 2009. – 200 с.

26. Послайко Н. І. Дослідження операцій. Задачі з умовами невизначеності та конфлікту : навч. посіб. / Н. І. Послайко. – Дніпро : Стандарт - Сервіс, 2019. – 53 с.

27. Корнієнко В.О., Денисюк С.Г., Шиян А.А. Моделювання процесів у політико-комунікативному просторі: Монографія. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. — 185 с.

28. . Шиян А.А. Теоретико-ігровий аналіз раціональної поведінки людини та прийняття рішень в управлінні соціально-економічними системами. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – 414 с.

29. Перспективні освітні технології: наук.-метод. посіб./ А.М. Алексюк, І.Д. Бех, Т.Ф. Демків, І.Г.Єрмаков, О.Завадський; за заг. ред. Г.С. Сазоненко. К.: Гопак, 2000. – 560 с. (Сучасна освіта України).

30. Бабаян О.О. Формування професійної компетентності майбутніх економістів засобами імітаційно-рольового моделювання: автореф. дис... канд. пед. наук: 13.00.04./ Луганський національний університет імені Тараса Шевченка. Луганськ, 2009. - 21 с.

31. Богданова І. М. Технології в освіті: теоретико-методологічний аспект. Акад. пед. наук України. Одеса, 1999. - 146 с.

32. Бурлаєнко Т.І. Формування економічної компетентності майбутніх менеджерів освіти засобами ігрових форм навчання: автореф. дис. ... канд. пед. наук: 13.00.04. / НАПН України, ДВЗО «Ун-т менедж. освіти». К., 2013. - 19 с.

33. Варій М. Й. Загальна психологія: підручник для студ. вищих навч. закладів. 3-е вид., випр. і доп. К.: Центр учбової літератури, 2009. - 1007 с.

34. Докучаєва В. В. Проектування інноваційних педагогічних систем у сучасному освітньому просторі: монографія. Луганськ: Альма-матер, 2005. - 304 с.

35. Ігнатенко С. В. Формування фахових компетенцій майбутніх інженерів педагогів засобами проблемно-ігрового навчання: автореф. дис. ... канд. пед. наук: 13.00.04 / НАПН України, Ін-т вищої освіти. К., 2011. - 20 с.

36. Ігри дорослих. Інтерактивні методи навчання / упоряд. Л. Галіцина. К.: Ред. загальнопед. газета, 2005. - 128 с.

37. Інтерактивні технології навчання: теорія, практика, досвід: метод. посібник / авт.-укладачі: О. Пометун, Л. Пироженко. К.: АПН, 2019. - 135 с.

38. Качеровська Тетяна Василівна. Навчально-ігрове проектування у професійній підготовці майбутніх менеджерів організацій: автореф. дис... канд. пед. наук: 13.00.04 / Південноукраїнський держ. педагогічний ун-т ім. К.Д. Ушинського. Одеса, 2005. - 20 с.

39. Кічук Н. В. Ігрове проектування як інтерактивна дидактична технологія підготовки фахівців // Наука і освіта. 2015. № 3 – 4. С. 61-65.

40. Бурков В.Н., Заложнев А.Ю., Новиков Д.А. Теория графов в управлении организационными системами. М.: Синтег, 2011. – 246с.

41. Ковель В.В. Навчання базовим стратегіям розробки програмного забезпечення //Міжнародна науково-практична Інтернет-конференція "Електронні інформаційні ресурси: створення, використання, доступ". Збірник матеріалів - Суми/Вінниця: НІКО/ВНТУ, 2021. – С. 84-87.

42. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

Міністерство освіти і науки України

Вінницький національний технічний університет

Факультет інформаційних технологій та комп’ютерної інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ

д.т.н., проф. О. Н. Романюк

"____ "________2021 р.

Технічне завдання

на магістерську кваліфікаційну роботу «Методи та програмні засоби вибору найкращої стратегії з розробки програмних засобів у ІТ-компанії»

за спеціальністю

121 – Інженерія програмного забезпечення

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи:

_____________ к.т.н., доцент О.М. Хошаба

"____"_________________2021 р.

Виконав:

________студент гр.2ПІ-20м В.В. Ковель

"____"_________________2021 р.

Вінниця – 2021 рік

1. Найменування та галузь застосування

Магістерська кваліфікаційна робота: «Методи та програмні засоби вибору найкращої стратегії з розробки програмних засобів у ІТ-компанії».

Галузь застосування - системи з управління та вибору найкращої стратегії з розробки програмних засобів.

2. Підстава для розробки.

Підставою для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР) є індивідуальне завдання на МКР та наказ №   ректора по ВНТУ про закріплення тем МКР.

3. Мета та призначення розробки.

Метою роботи є є підвищення ефективності вибору найкращої стратегії з розробки програмних засобів у ІТ-компанії за рахунок використання теорії ігор.

Призначення роботи – розробка методів і засобів з управління та вибору найкращої стратегії з розробки програмних засобів.

3 Вихідні дані для проведення НДР

Перелік основних літературних джерел, на основі яких буде виконуватись МКР.

1. Ковель В. В. Навчання базовим стратегіям розробки програмного забезпечення //Міжнародна науково-практична Інтернет-конференція "Електронні інформаційні ресурси: створення, використання, доступ". Збірник матеріалів - Суми/Вінниця: НІКО/ВНТУ, 2021. – С. 84-87.

2. Інтерактивні технології навчання: теорія, практика, досвід: метод. посібник / авт.-укладачі: О. Пометун, Л. Пироженко. К.: АПН, 2019. - 135 с.

3. Кічук Н. В. Ігрове проектування як інтерактивна дидактична технологія підготовки фахівців // Наука і освіта. 2015. № 3 – 4. С. 61-65.

4. Бурков В.Н., Заложнев А.Ю., Новиков Д.А. Теория графов в управлении организационными системами. М.: Синтег, 2011. – 246с.

4. Технічні вимоги

Моделі прийняття рішень на основі теорії ігор: використання домінантних стратегії та некооперативні ігри; особливості розробки моделей з прийняття рішень та теорії ігор: моделі рівноваги та суб'єктивної рівноваги, ієрархічних ігор; визначення гри в розгорнутій структурній формі: НМ- та конфігураційні моделі прийняття рішень; постановка задачі розробки програмного засобу на основі дерева рішень: не менш 4 рівнів.

5. Конструктивні вимоги.

Конструкція пристрою повинна відповідати естетичним та ергономічним вимогам, повинна бути зручною в обслуговуванні та керуванні.

Графічна та текстова документація повинна відповідати діючим стандартам України.

6. Перелік технічної документації, що пред'являється по закінченню робіт:

– пояснювальна записка до МКР;

– технічне завдання;

– лістинги програми.

7. Вимоги до рівня уніфікації та стандартизації

При розробці програмних засобів слід дотримуватися уніфікації і ДСТУ.

8. Стадії та етапи розробки:

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної Роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Аналіз сучасного стану методів і засобів вибору найкращої стратегії з прийняття рішень	15.09. 2021 - 30.09.2021
2	Розробка моделей вибору найкращої стратегії з прийняття рішень на основі теорії ігор	01.10.2021-10.10.2021
3	Структурні особливості розробки моеделй вибору найкращої стратегії у теорії ігор	11.10.2021-25.10.2021
4	Розробка програмного засобу на основі дерева рішень	26.10.2021-19.11.2021
5	Економічна частина	20.11.2021-30.11.2021

9. Порядок контролю та прийняття.

Виконання етапів магістерської кваліфікаційної роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання роботи. Прийняття магістерської кваліфікаційної роботи здійснюється ДЕК, затвердженою зав. кафедрою згідно з графіком

ДОДАТОК Б
ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ

Назва роботи: **Методи та програмні засоби вибору найкращої стратегії з розробки програмних засобів у ІТ-компанії.**

Тип роботи: кваліфікаційна робота

Підрозділ : кафедра програмного забезпечення, ФІТКІ, 1ПІ – 20м

Науковий керівник: к.т.н. доц. Хошаба О. М.

Unicheck	
Оригінальність	**92,7 %**
Схожість	7,3 %

Аналіз звіту подібності

■ **Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.**

 Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.

 Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Заявляю, що ознайомлена з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи «Методи та програмні засоби вибору найкращої стратегії з розробки програмних засобів у ІТ-компанії».

Автор ___________ Ковель Віталій Васильович

Опис прийнятого рішення: **допустити до захисту**

Особа, відповідальна за перевірку ___________ Черноволик Г. О.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Експерт ___________ ____
(за потреби) (підпис) (прізвище, ініціали, посада)

ДОДАТОК В
ЛІСТИНГ КОДУ

Лістинг програмного засобу

```
//  Контрольний приклад рішення задачі
//  згідно алгоритму на рис. 4.3і
//
     import static javax.swing.JOptionPane.*;
     class SimplexTable {
       public static void main(String[] args) {
         String recviziti, maxznach, oporniyplan;
         String koeff;
         int ikoeff;
         boolean endcikle = false;
         recviziti = showInputDialog(null, "Введіть початкові значення матриці",
           "Початкові значення матриці",
           QUESTION_MESSAGE);
         maxznach = showInputDialog(null, "Визначимо максимальне значення цільової функції за умов-обмежень",
           "Максимальне значення цільової функції",
           QUESTION_MESSAGE);
         maxznach = calculateMaxZnach();
     do {
         oporniyplan = showInputDialog(null, "Будуємо опорного плану системи нерівностей",
           "Опорний план системи нерівностей",
           QUESTION_MESSAGE);
         oporniyplan = calculateOporniyPlan();
         koeff = showInputDialog(null, "В індексному рядку є негативні коефіцієнти (ні - 0, так - 1) ?",
```

```
        "Результати проведення рекламної кампанії",
        QUESTION_MESSAGE);
    ikoeff = Integer.parseInt(koeff);
    if (ikoeff == 1)
      System.out.println("Поточний опорний план є не оптимальним");
    else
      endcikle = true;
    } while(endcikle);
    System.out.println("Поточний опорний план є оптимальним");
  }
  public static String calculateMaxZnach() {
  // Використання "заплаток"
    String varmaxznach;
    varmaxznach = "1";
…
    return varmaxznach;
  }
  public static String calculateOporniyPlan() {
  // Використання "заплаток"
    String varoporniyplan;
    varoporniyplan = "2";
…
    return varoporniyplan;
  }
```

Програмний код тестування модуля з прийняття рішень по вибору найкращої стратегії з розробки програмних засобів у IT-компанії

```
public class TestingFormForAutoMobiles
{
```

```
public enum State { DeterminingBudgetWorks, toDeterminingTermWork, toDeterminingDateTimeWork, toExecutionOrder, cancelled, toReport }
private State state;
//------------------------
// Визначення конструктора
//------------------------
public TestingFormForAutoMobiles()
{
setState(State.DeterminingBudgetWorks);
}
//------------------------
// Визначення інтерфейса
//------------------------
public String getStateFullName()
{
String answer = state.toString();
return answer;
}
public State getState()
{
return state;
}
public boolean cancel()
{
boolean wasEventProcessed = false;
State aState = state;
switch (aState)
{
case DeterminingBudgetWorks:
setState(State.cancelled);
```

```
wasEventProcessed = true;
break;
case toDeterminingTermWork:
setState(State.cancelled);
wasEventProcessed = true;
break;
case toDeterminingDateTimeWork:
setState(State.cancelled);
wasEventProcessed = true;
break;
case toExecutionOrder:
setState(State.cancelled);
wasEventProcessed = true;
break;
default:
// Розширення на майбутнє
}
return wasEventProcessed;
}
public boolean determiningTermWork()
{
boolean wasEventProcessed = false;
State aState = state;
switch (aState)
{
case DeterminingBudgetWorks:
setState(State.toDeterminingTermWork);
wasEventProcessed = true;
break;
default:
```

```
// Розширення на майбутнє
}
return wasEventProcessed;
}
public boolean determiningDateTimeWork()
{
boolean wasEventProcessed = false;
State aState = state;
switch (aState)
{
case toDeterminingTermWork:
setState(State.toDeterminingDateTimeWork);
wasEventProcessed = true;
break;
default:
// Розширення на майбутнє
}
return wasEventProcessed;
}
public boolean executionOrder()
{
boolean wasEventProcessed = false;
State aState = state;
switch (aState)
{
case toDeterminingDateTimeWork:
setState(State.toExecutionOrder);
wasEventProcessed = true;
break;
case toExecutionOrder:
```

```
setState(State.toReport);
wasEventProcessed = true;
break;
default:
// Розширення на майбутнє
}
return wasEventProcessed;
}
private void setState(State aState)
{
state = aState;
}
public void delete()
{}
}
```

Програмний код з тестування графічних форм автоматизованої системи з прийняття рішень по вибору найкращої стратегії з розробки програмних засобів у IT-компанії

Основний модуль:

TestApp.java

```
package org.vntu.vibor.testforma;

import java.util.regex.Matcher;
import java.util.regex.Pattern;
class TestApp {
final static String idCorrect = "1112222333";
final static String idNotCorrect = "ID....";
final static String dateCorrect = "11/12/2021";
final static String dateNotCorrect = "Date....";
```

```
final static String timeCorrect = "11:22";
final static String timeNotCorrect = "Time....";
final static String periodTimeCorrect = "123";
final static String periodTimeNotCorrect = "PeriodTime....";
public static boolean isValidNumericService(String str) {
  str = str.trim(); // trims the white spaces.
  if(str.length() == 0)
    return false;
  if (str.length() == 1 && !Character.isDigit(str.charAt(0)))
    return false;
  if (str.charAt(0) != '+' && str.charAt(0) != '-'
    && !Character.isDigit(str.charAt(0))
    && str.charAt(0) != '.')
  return false;
return true;
}
public static boolean isValidTimeService(String time) {
// For Time Service: 13:05
  String regex = "([01]?[0-9]|2[0-3]):[0-5][0-9]";
  Pattern p = Pattern.compile(regex);
  if (time == null) {
  return false;
  }
  Matcher m = p.matcher(time);
  return m.matches();
}
public static boolean isValidDateService(final String date) {
// For Service format /dd/mm/yyyy
  String regex = "^(1[0-2]|0[1-9])/(3[01]"
                       + "|[12][0-9]|0[1-9])/[0-9]{4}$";
```

```
    Pattern pattern = Pattern.compile(regex);
    Matcher matcher = pattern.matcher((CharSequence)date);
    return matcher.matches();
   }
    public static void main(String[] args) {
      Diagnostics diagnostics = new Diagnostics();
      testing testing = new testing();
      diagnostics.setServiceName("Діагностика");
      diagnostics.setID(idCorrect);
      System.out.println("Тестування ID: ==> " + diagnostics.getServiceName()
+ " ==> " + diagnostics.getID());
      if (isValidNumericService(diagnostics.getID()))
        System.out.println("Тестування пройдено +++ ");
      else
        System.out.println("Тестування НЕ пройдено !!!");
      diagnostics.setID(idNotCorrect);
      System.out.println("Тестування ID: ==> " + diagnostics.getServiceName()
+ " ==> " + diagnostics.getID());
      if (isValidNumericService(idNotCorrect))
        System.out.println("Тестування пройдено +++ ");
      else
        System.out.println("Тестування НЕ пройдено !!!");
      diagnostics.setDate(dateCorrect);
      System.out.println("Тестування ==> " + diagnostics.getServiceName() + "
==> " + diagnostics.getDate());
      if (isValidDateService(diagnostics.getDate()))
        System.out.println("Тестування пройдено +++ ");
      else
        System.out.println("Тестування НЕ пройдено !!!");
      diagnostics.setDate(dateNotCorrect);
```

```
            System.out.println("Тестування ==> " + diagnostics.getServiceName() + "
==> " + diagnostics.getDate());
            if (isValidDateService(diagnostics.getDate()))
              System.out.println("Тестування пройдено +++ ");
            else
              System.out.println("Тестування НЕ пройдено !!!");
            diagnostics.setTime(timeCorrect);
            System.out.println("Тестування ==> " + diagnostics.getServiceName() + "
==> " + diagnostics.getTime());
            if (isValidTimeService(diagnostics.getTime()))
              System.out.println("Тестування пройдено +++ ");
            else
              System.out.println("Тестування НЕ пройдено !!!");
            diagnostics.setTime(timeNotCorrect);
            System.out.println("Тестування ==> " + diagnostics.getServiceName() + "
==> " + diagnostics.getTime());
            if (isValidTimeService(diagnostics.getTime()))
              System.out.println("Тестування пройдено +++ ");
            else
              System.out.println("Тестування НЕ пройдено !!!");
            testing.setServiceName("Паркування");
            testing.setID(idCorrect);
            System.out.println("Тестування ==> " + testing.getServiceName() + " ==>
" + testing.getID());
            if (isValidNumericService(testing.getID()))
              System.out.println("Тестування пройдено +++ ");
            else
              System.out.println("Тестування НЕ пройдено !!!");
            testing.setID(idNotCorrect);
```

```
            System.out.println("Тестування ==> " + testing.getServiceName() + " ==> " + testing.getID());
            if (isValidNumericService(testing.getID()))
              System.out.println("Тестування пройдено +++ ");
            else
              System.out.println("Тестування НЕ пройдено !!!");
            testing.setDate(dateCorrect);
            System.out.println("Тестування ==> " + testing.getServiceName() + " ==> " + testing.getDate());
            if (isValidDateService(testing.getDate()))
              System.out.println("Тестування пройдено +++ ");
            else
              System.out.println("Тестування НЕ пройдено !!!");
            testing.setDate(dateNotCorrect);
            System.out.println("Тестування ==> " + testing.getServiceName() + " ==> " + testing.getDate());
            if (isValidDateService(testing.getDate()))
              System.out.println("Тестування пройдено +++ ");
            else
              System.out.println("Тестування НЕ пройдено !!!");
            testing.setTime(timeCorrect);
            System.out.println("Тестування ==> " + testing.getServiceName() + " ==> " + testing.getTime());
            if (isValidTimeService(testing.getTime()))
              System.out.println("Тестування пройдено +++ ");
            else
              System.out.println("Тестування НЕ пройдено !!!");
            testing.setTime(timeNotCorrect);
            System.out.println("Тестування ==> " + testing.getServiceName() + " ==> " + testing.getTime());
```

```
if (isValidTimeService(testing.getTime()))
  System.out.println("Тестування пройдено +++ ");
else
  System.out.println("Тестування НЕ пройдено !!!");
testing.setPeriodTime(periodTimeCorrect);
System.out.println("Тестування ==> " + testing.getServiceName() + " ==> " + testing.getPeriodTime());
if (isValidNumericService(testing.getPeriodTime()))
  System.out.println("Тестування пройдено +++ ");
else
  System.out.println("Тестування НЕ пройдено !!!");
testing.setPeriodTime(periodTimeNotCorrect);
System.out.println("Тестування ==> " + testing.getServiceName() + " ==> " + testing.getPeriodTime());
if (isValidNumericService(testing.getPeriodTime()))
  System.out.println("Тестування пройдено +++ ");
else
  System.out.println("Тестування НЕ пройдено !!!");
 }
}
```

Додаткові модулі:

IService.java

```
package org.vntu.vibor.testforma;
interface IService {
  public String getID();
  public void setID(String id);
  public String getServiceName();
  public void setServiceName(String serviceName);
```

```
  public String getServiceCost();
  public void setServiceCost(String serviceCost);
}
```

IBaseService.java

```
package org.vntu.vibor.testforma;
interface IBaseService extends IService {
  public String getDate();
  public void setDate(String date);
  public String getTime();
  public void setTime(String time);
}
```

IExtendedService.java

```
package org.vntu.vibor.testforma;
interface IExtendedService extends IService {
  public String getClientName();
  public void setClientName(String clientName);
}
```

Diagnostics.java

```
package org.vntu.vibor.testforma;
class Diagnostics implements IBaseService {
  private String id;
  private String serviceName;
  private String serviceCost;
  private String date;
  private String time;
  public String getID() {
    return id;
```

```
  }
  public void setID(String id) {
    this.id = id;
  }
  public String getServiceName() {
    return serviceName;
  }
  public void setServiceName(String serviceName) {
    this.serviceName = serviceName;
  }
  public String getServiceCost() {
    return serviceCost;
  }
  public void setServiceCost(String serviceCost) {
    this.serviceCost = serviceCost;
  }
  public String getDate() {
    return date;
  }
  public void setDate(String date) {
    this.date = date;
  }
  public String getTime() {
    return time;
  }
  public void setTime(String time) {
    this.time = time;
  }
}
```

ДОДАТОК Г

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

МЕТОДИ ТА ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ВИБОРУ НАЙКРАЩОЇ СТРАТЕГІЇ З РОЗРОБКИ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ В ІТ-КОМПАНІЇ

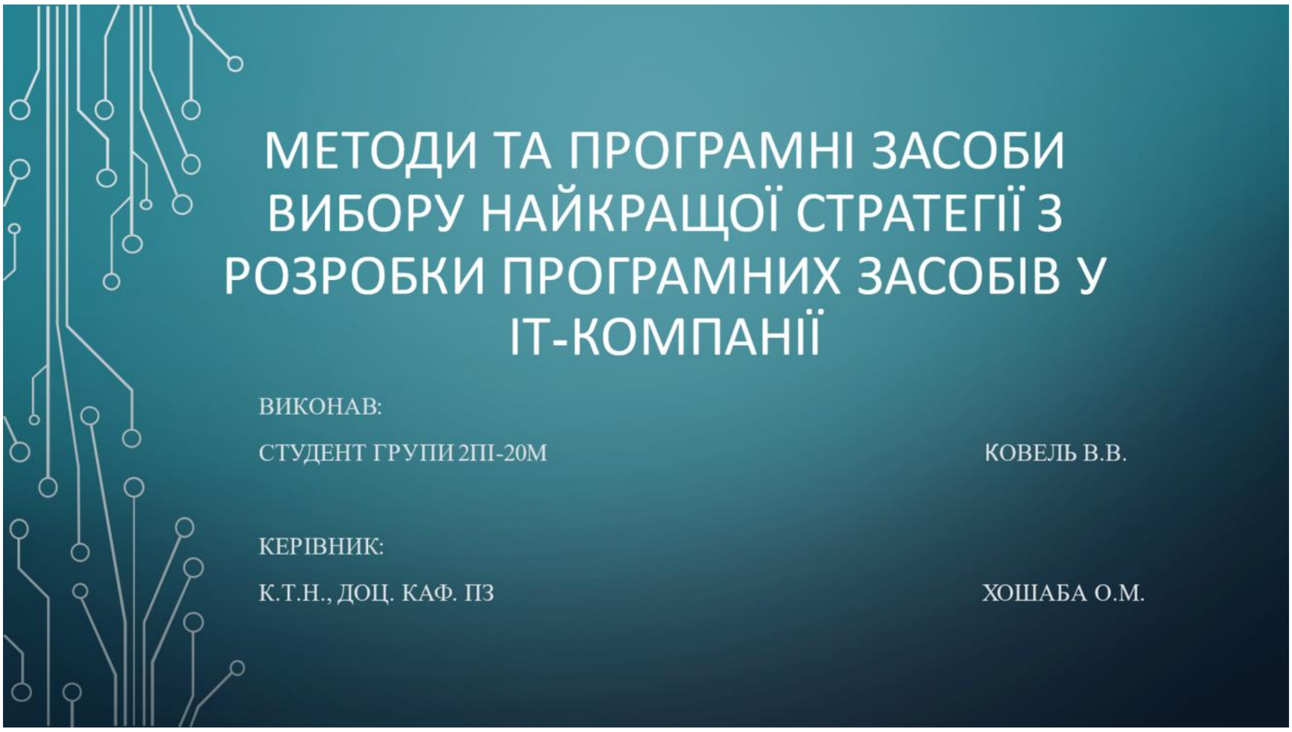


Рисунок Г.1 – Титульний слайд

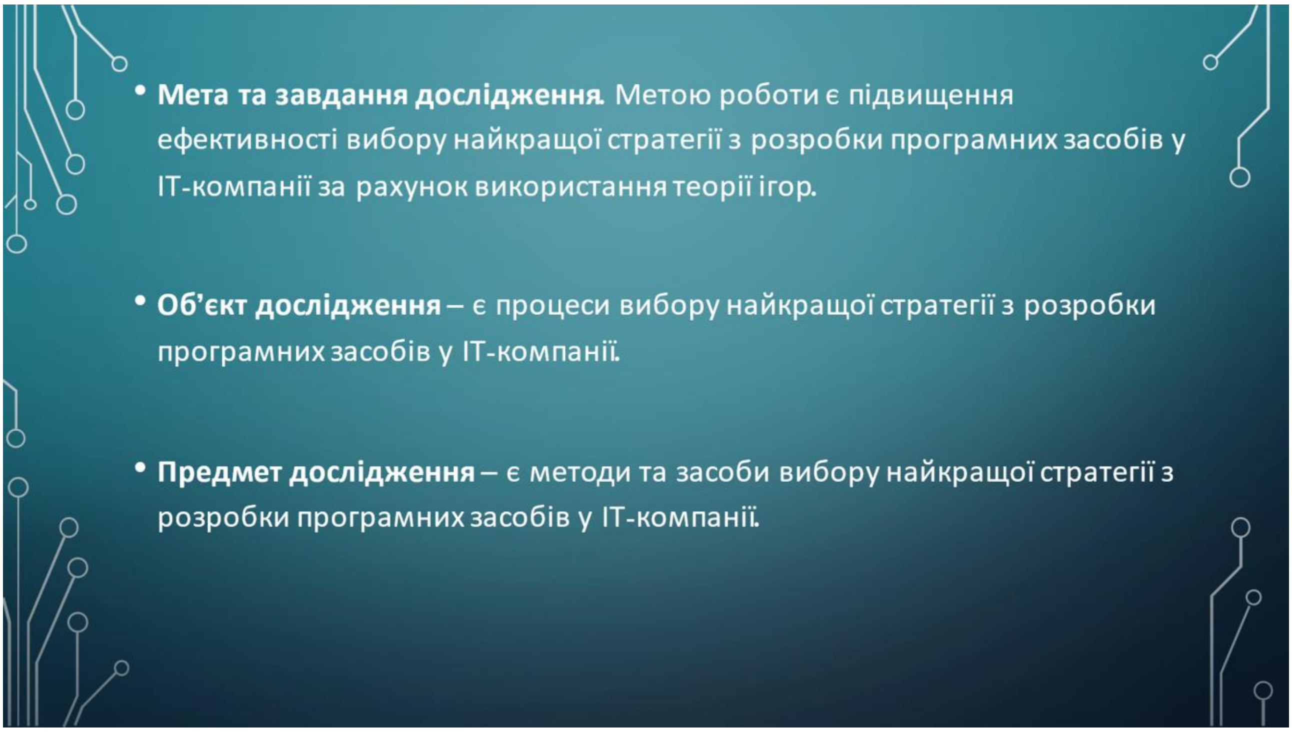


Рисунок Г.2 – Мета та об’єкт дослідження

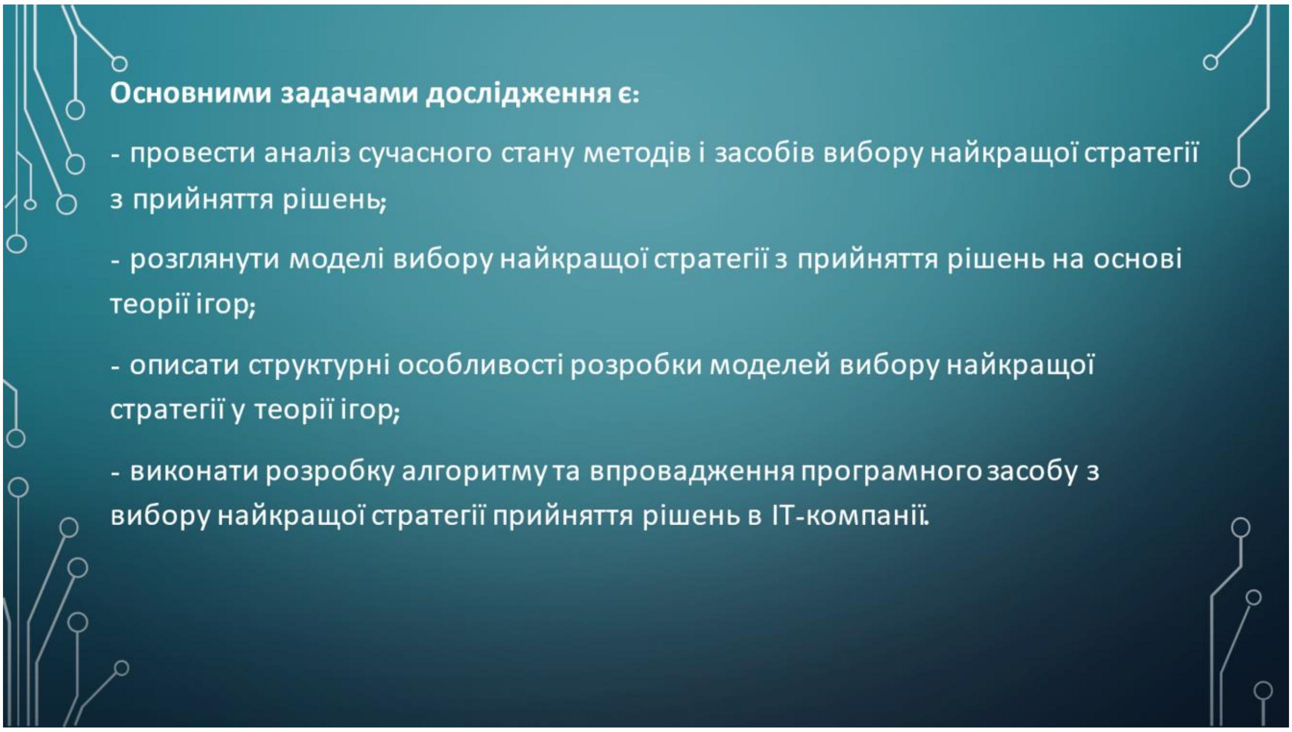


Рисунок Г.3 – Задачі дослідження

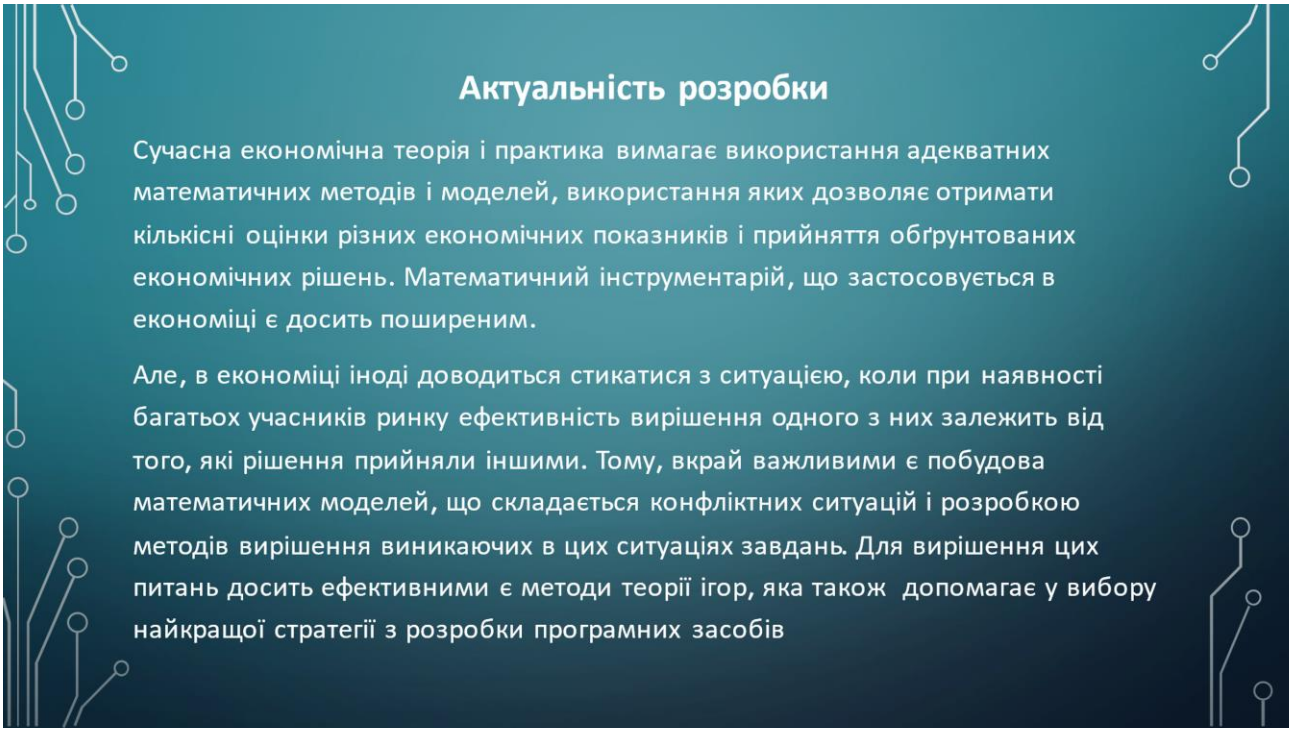


Рисунок Г.4 – Актуальність розробки

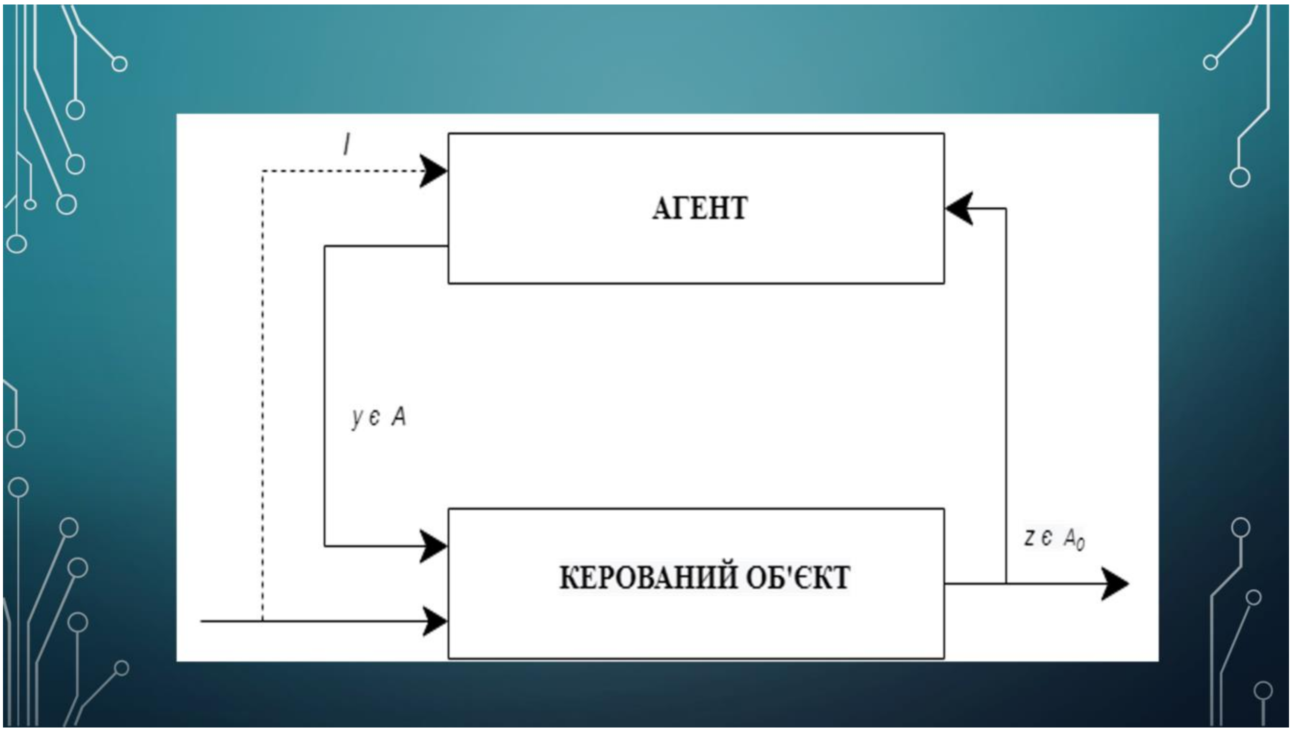


Рисунок Г.5 – Структура моделі прийняття рішень за допомогою агентних Технологій

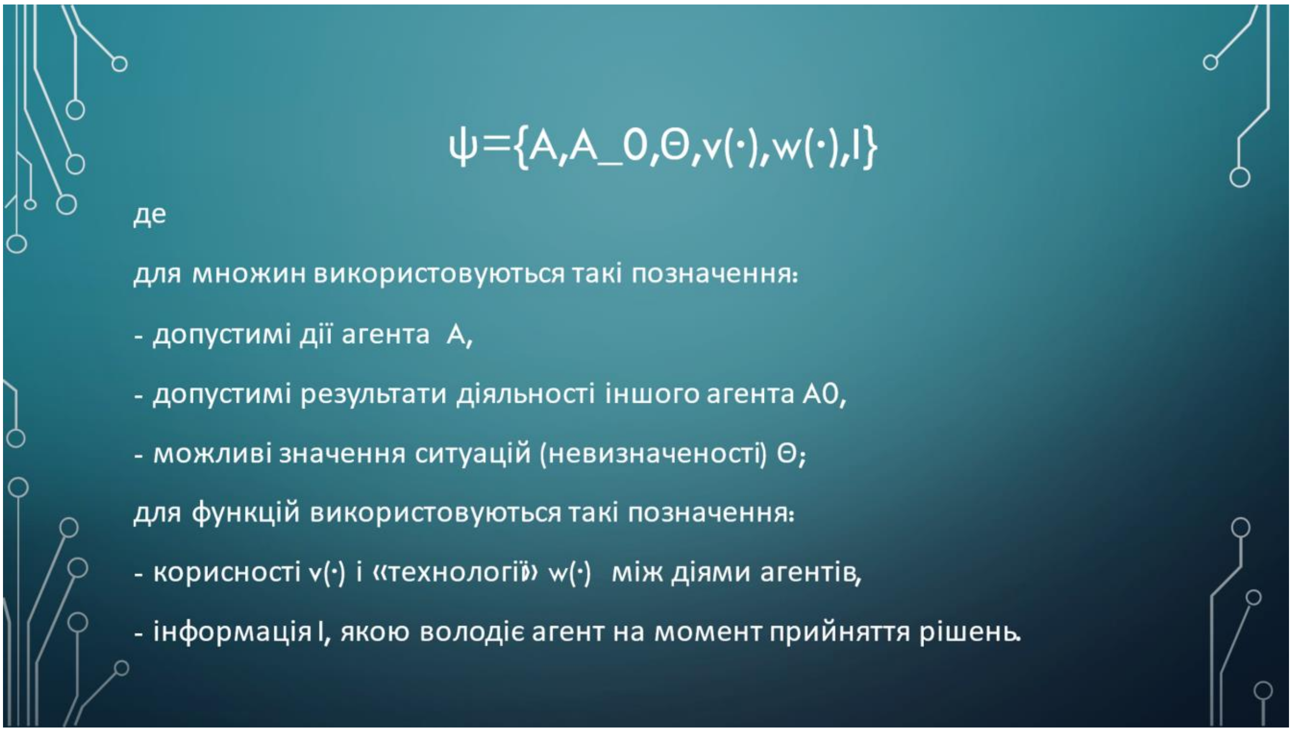


Рисунок Г.6 – Агентна модель, що представлена функцією корисності

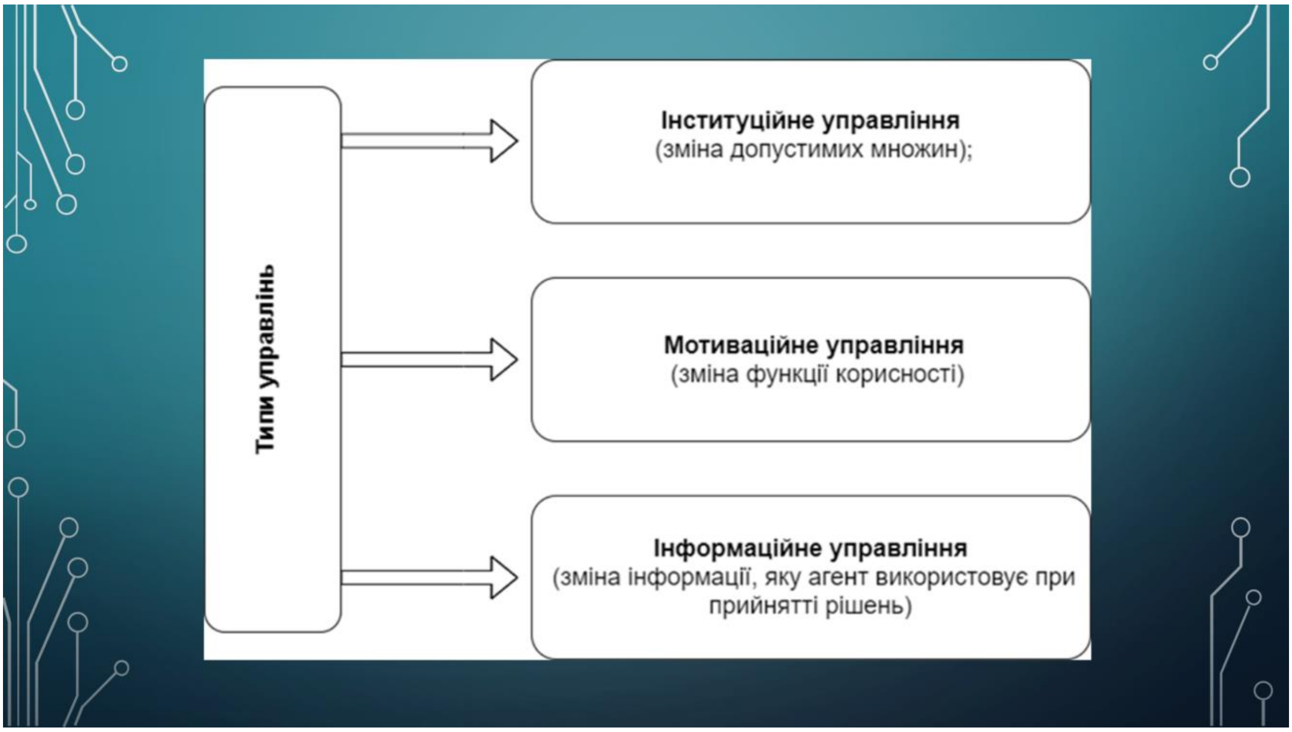


Рисунок Г.7 – Організаційна схема використання агентної технології на основі розглянутої математичної моделі

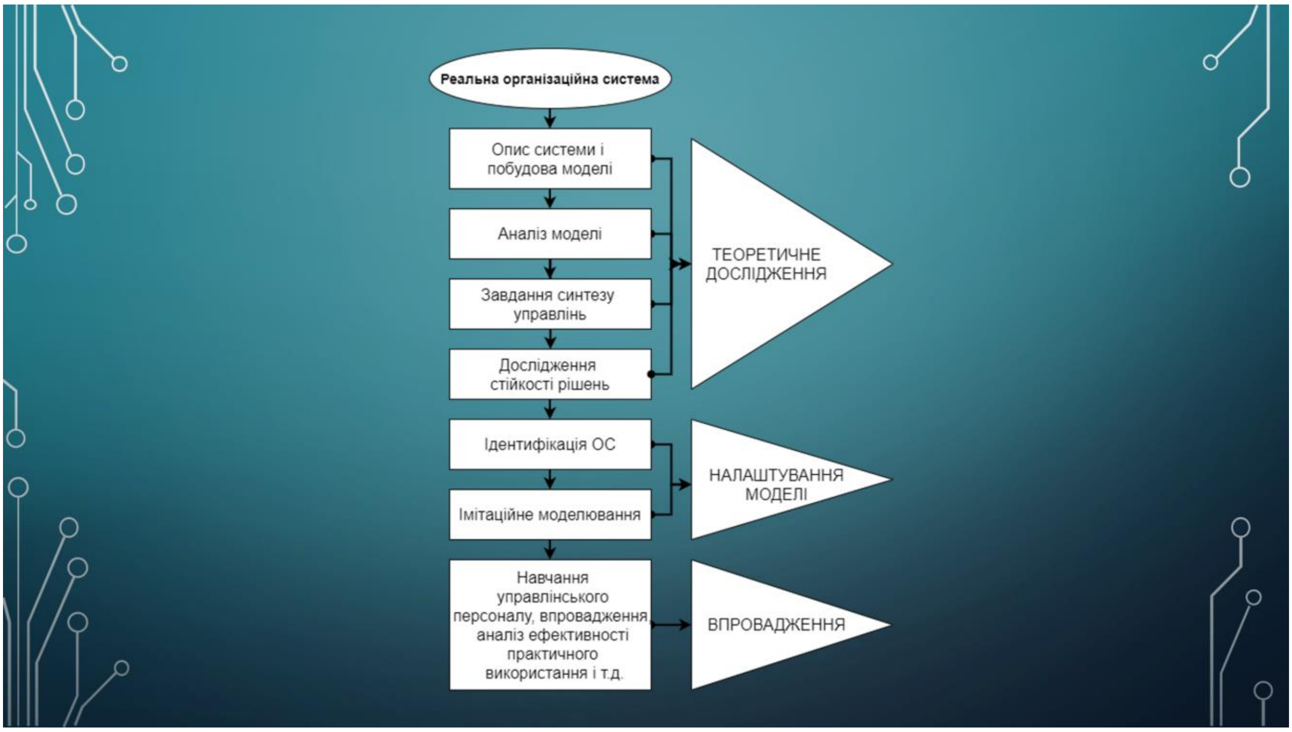


Рисунок Г.8 – Технологія управління організаційними системами для вибору найкращої стратегії

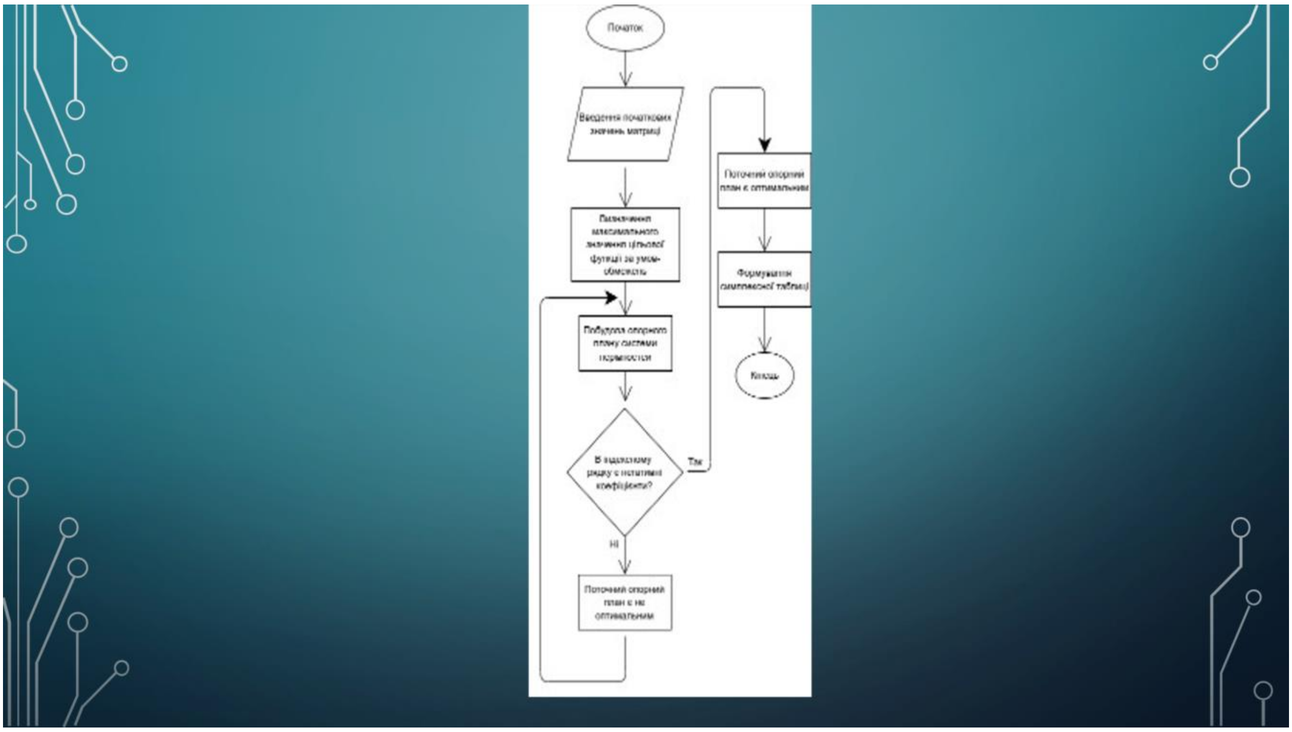


Рисунок Г.9 – Блок-схема алгоритм розв’язання контрольного завдання за допомогою лінійного програмування симплексним методом

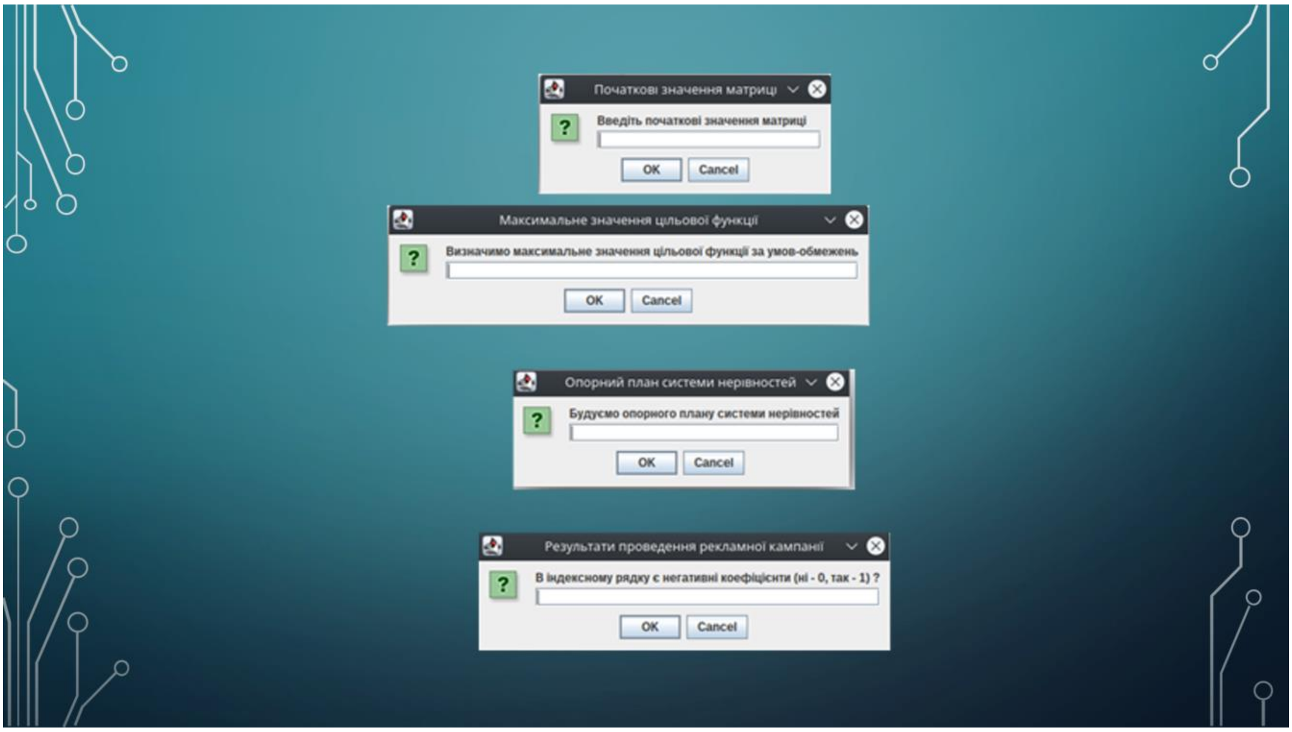


Рисунок Г.10 – Скріншоти роботи програмного засобу

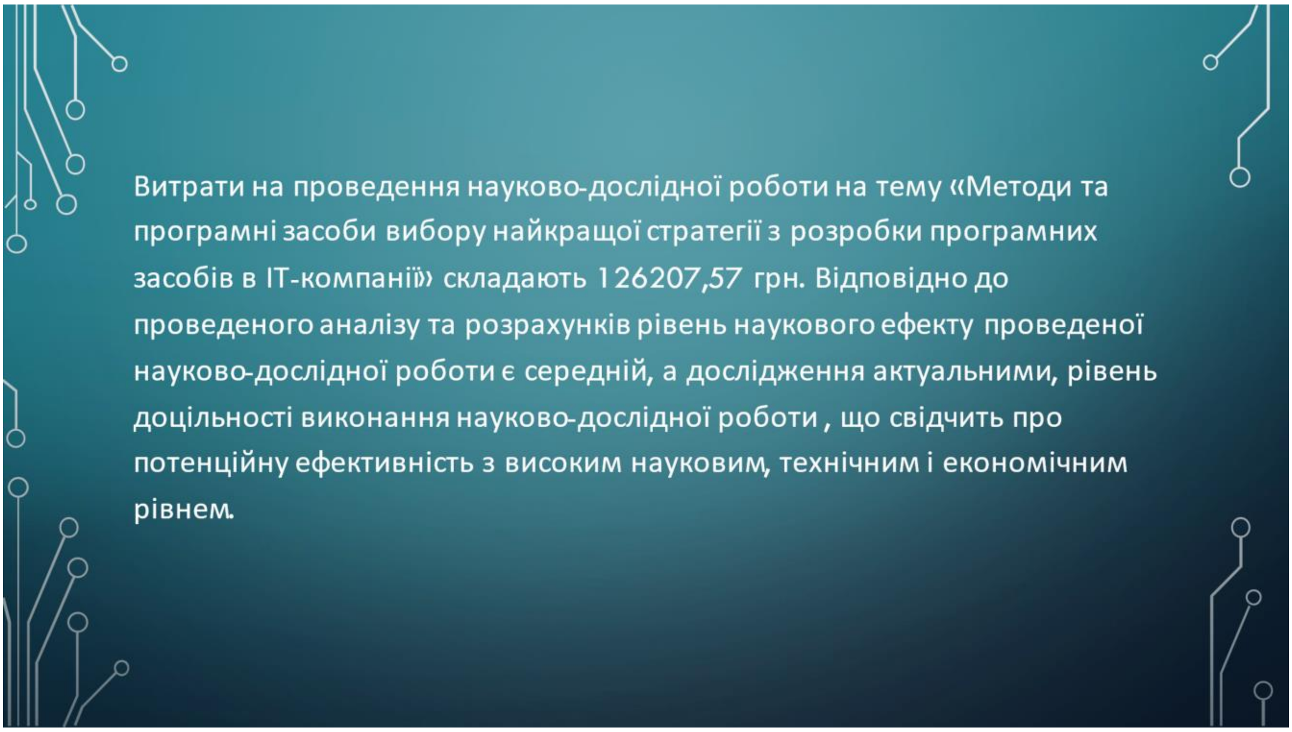


Рисунок Г.11 – Економічний розділ

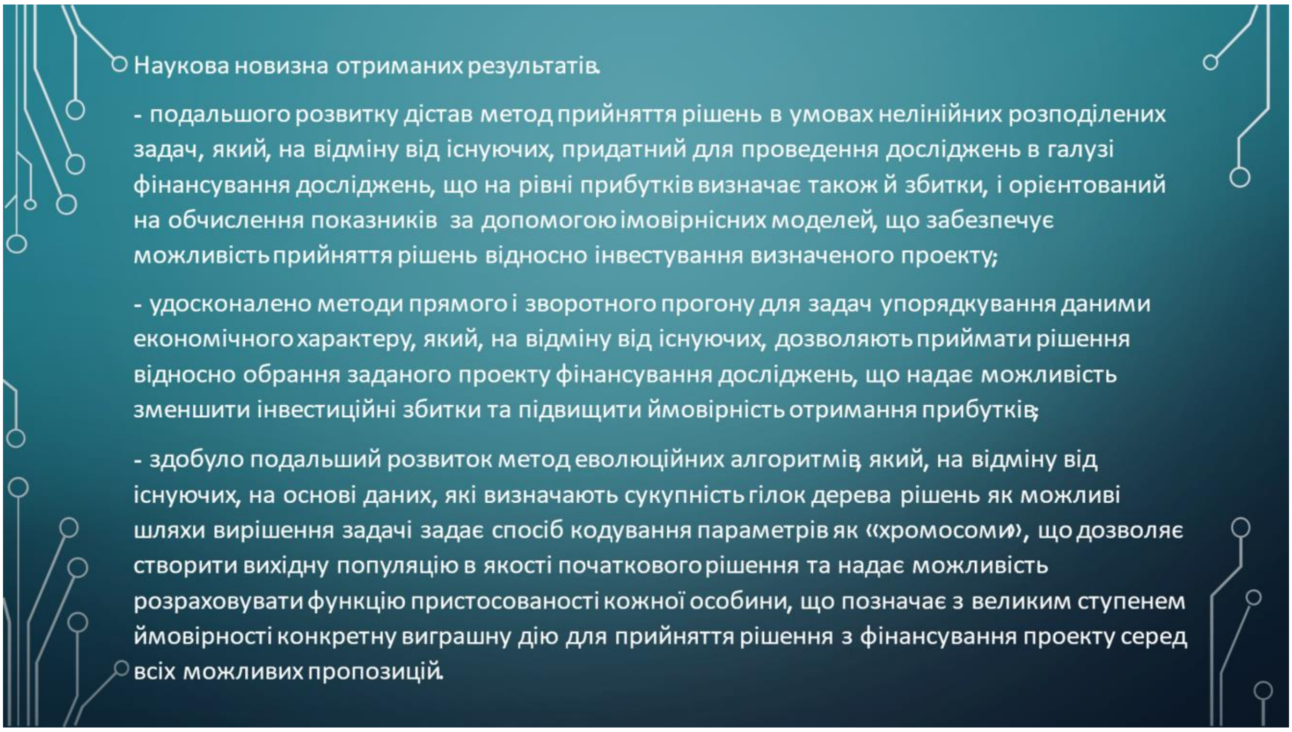


Рисунок Г.12 – Висновки:

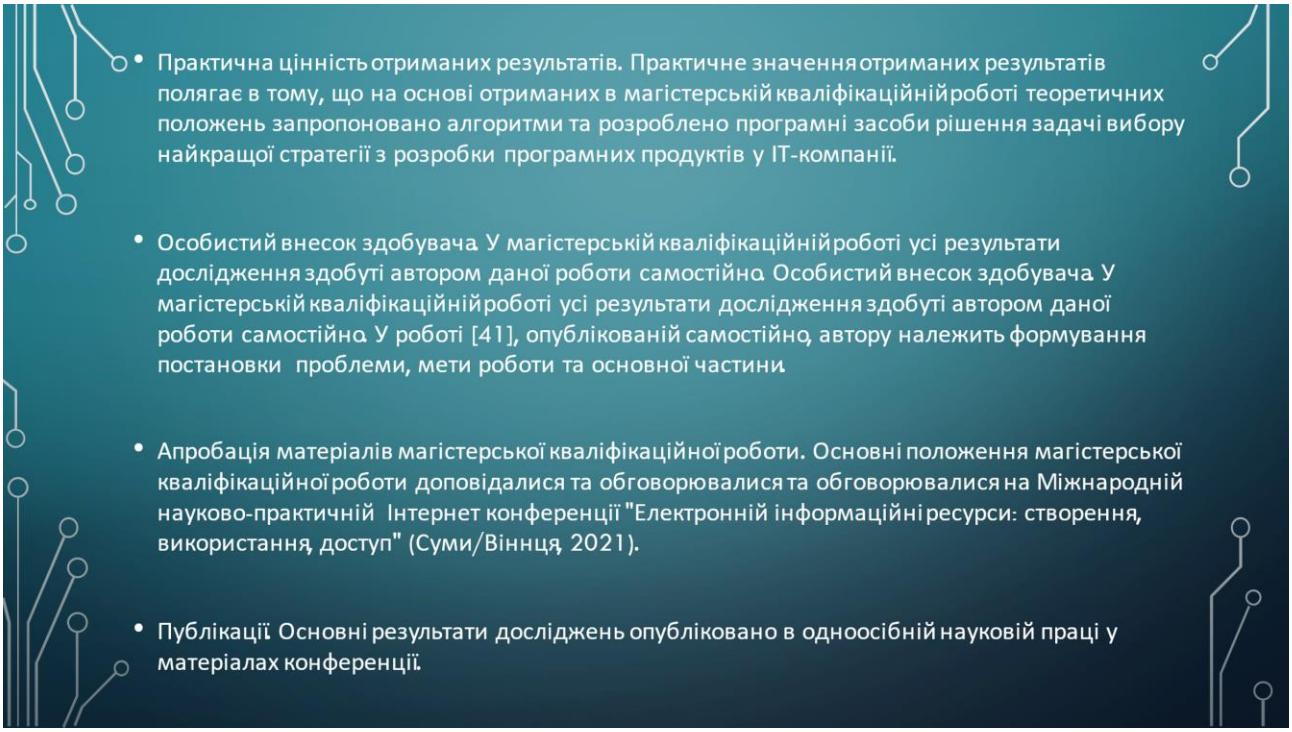


Рисунок Г.13– Висновки:

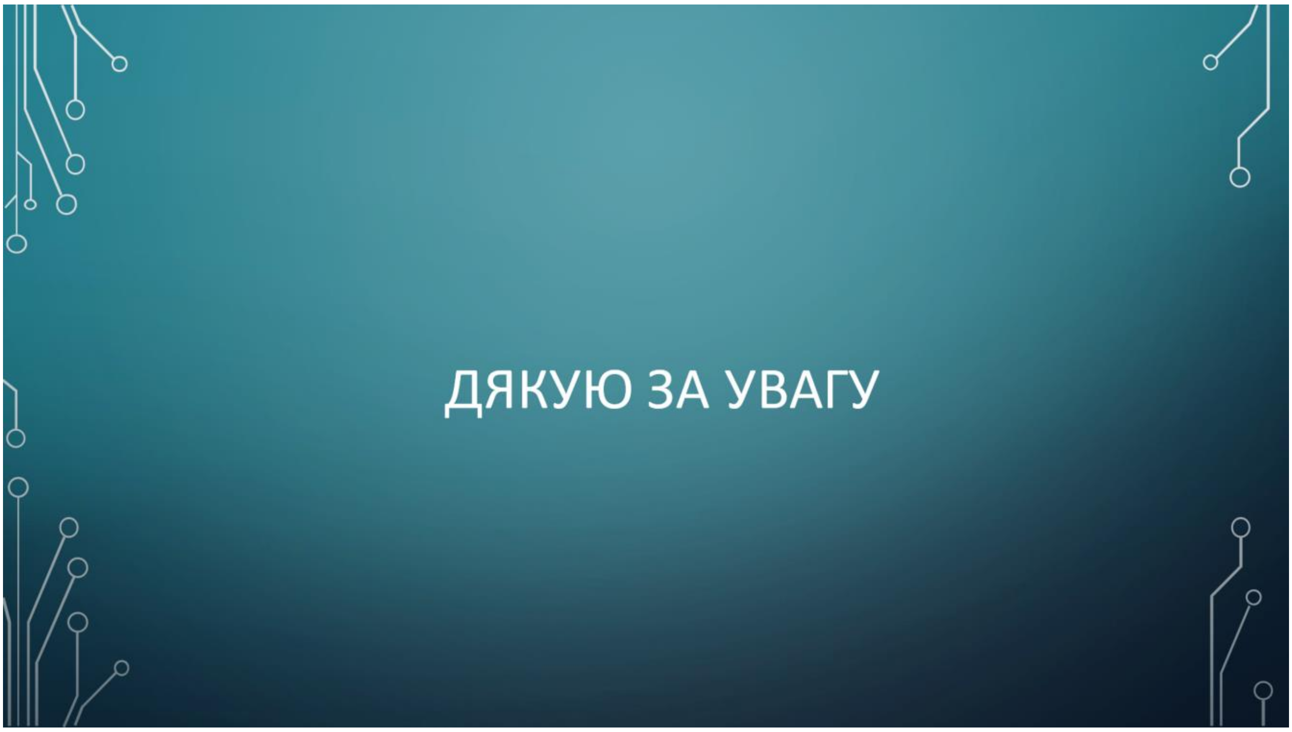


Рисунок Г.14