# РОЗДІЛ 7. МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

## МУЛЬТИАГЕНТНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ІННОВАЦІЙНИХ КЛАСТЕРАХ

## MULTI-AGENT SYSTEM DECISION SUPPORT INNOVATION CLUSTERS

УДК 004.4'27:005.53:330.341.1-025.7

**Мельников В.В.**
аспірант кафедри
інформаційних систем в економіці
Київський національний економічний
університет імені Вадима Гетьмана

*У статті розглянуто практичні рекомендації до розробки мультиагентної системи підтримки прийняття рішень в інноваційних кластерах. Описані слабоструктуровані та неструктуровані рішення, які повинна підтримувати та вирішувати система підтримки прийняття рішень. Розроблена архітектура системи, її вхідні та вихідні дані для прийняття рішень в інноваційних кластерах.*

**Ключові слова:** *мультиагентна система, прийняття рішень, інноваційні кластери, процеси управління.*

*В статье рассмотрены практические рекомендации к разработке мультиагентной системы поддержки принятия решений в инновационных кластерах. Описаны слабоструктурированные и неструктурированные решения, которые должна поддерживать и решать система поддержки принятия решений. Разработана архитектура системы, ее входные и выходные данные для принятия решений в инновационных кластерах.*

**Ключевые слова:** *мультиагентная система, принятие решений, инновационные кластеры, процессы управления.*

*The article describes the best practices for the development of the multi-system decision support innovation clusters. Described semistructured and unstructured decisions, which should support and solve the system of decision-making support. The architecture of the system, its input and output data for decision-making in innovation clusters.*

**Key words:** *multi-agent system, decision-making, innovation clusters, management processes.*

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день в умовах складного динамічного ринкового та інформаційного середовища, що характеризується постійною невизначеністю та мінливістю політичних, економічних, соціальних та екологічних факторів, основою успішного функціонування господарюючих суб'єктів є ухвалення адекватних управлінських рішень. Сьогодні важливим компонентом успіху в бізнесі є розумне використання інформаційних систем. Соціально-економічна система будь-якої організації, до яких і відноситься інноваційний кластер, може бути представлена як складна мультиагентна система. Приймаючи рішення, в інноваційних кластерах необхідно враховувати декілька рівнів управління: держава, регіон, фасилітатор, учасник інноваційного кластера.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням прийняття рішень займались багато вітчизняних та зарубіжних учених. Значний внесок у дослідження проблем управлінських рішень зробили А.В. Андрейчиков, А.І. Гінзбург, Л.Г. Євланов, О.І. Ларичев, Б.Г. Литвак, А.В. Тебекін. Проблемою застосування сучасних комп'ютерних систем для підтримки прийняття рішень присвячені роботи таких науковців, як: А.В. Вишнеков, В.Ф. Ситник, О.С. Олексюк, В.Г. Тоценко, В.М. Гужва.

І.І. Новаківський пропонує використання програмних агентів для управління інноваційними процесами у ланцюгах вартості [1].

Науковцями досліджена сутність, завдання, предмет та функції управлінських рішень, визначено місце управлінських рішень у системі управління підприємством та їх комп'ютерна підтримка загалом, але не розглянуто можливість та необхідність використання системи підтримки прийняття рішень в інноваційних кластерах.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є розробка практичних рекомендацій щодо функціонування мультиагентної системи підтримки прийняття рішень в інноваційних кластерах, опис архітектури системи, її вхідні та вихідні дані, програмної платформи для реалізації.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Прийняття рішень – це процес, який відбувається впродовж певного часового періоду й здійснюється в кілька етапів. Рішення – це результат вибору з кількох альтернатив, який фіксується письмово чи усно і містить програму дій для досягнення поставленої цілі. Сфера впливу організаційних управлінських рішень дуже велика. Рішення створюються індивідами на всіх рівнях і великою кількістю груп в організаціях.

Необхідність комп'ютерної підтримки прийняття рішень в економіці обумовлена декількома сучасними факторам:

- збільшенням обсягів інформації, яку необхідно обробити ОПР (особа, що приймає рішення) для прийняття рішення;
- ускладненням завдань;
- необхідністю обліку, врахування та взаємодії великої кількості факторів, вимог і потреб;
- знаття невизначеності для ОПР;
- неможливість кількісно вимірювати показники прийняття рішень;

- збільшення важливості та масштабності прийняття управлінських рішень в умовах світової глобалізації, інформатизації та розвитку WEB-технологій.

На цей час у сфері інформаційних технологій сформувалося два основних напрями, що гармонійно взаємодоповнюються: 1) системи обробки даних (СОД), які зорієнтовані на операційну обробку даних (операційні системи); 2) системи підтримки прийняття рішень (СППР), зорієнтовані на аналіз даних (аналітичні системи).

Існує багато концепції створення інформаційних систем (ІС). Серед них можна виділити три основні концепції: об'єктно-орієнтовані технології, CASE-технології та основані на знаннях (інтелектуальній) технології [2, с. 75].

Однією з найбільш значущих проблем, на нашу думку, є відсутність в ІК (інноваційних кластерах) інтегрованої СППР. Сформована в даний час практика полягає в тому, що всі дії по забезпеченню підтримки прийняття рішень виконуються у форматі разового заходу.

Web-орієнтовані СППР широко використовуються в електронній комерції. Системи надають можливість клієнтам виконати оптимальний вибір продукції або асортименту, ефективне користування сервісів післягарантійного обслуговування. Система допомагає клієнту сформувати критерії відбору товару, далі система знаходить у базах даних необхідний клієнту товар. СППР також забезпечує підтримку клієнта після продажу товару, а саме повернення товару, ремонт технічне обслуговування.

Переваги Web-орієнтованих СППР:

- мають зручний доступ через Web;
- всі типи СППР можуть функціонувати, використовуючи Web-технологію;
- використовують досвід, бази знань, документи, моделі та методи пошуку знань, великої і різноманітної групи користувачів, які є доступними через Інтернет;
- доступність багатьом користувачам;
- легка інтеграція с мобільними сервісами;
- кросплатформеність;
- можливість працювати із системою на слабкому апаратному забезпеченні, головне, щоб була наявність Інтернет-зв'язку.

Останнім часом розвиток штучного інтелекту отримав низку додатків, які застосовуються в різних галузях науки, предметних областях та техніки. Застосування в бізнесі штучного інтелекту проходить переважно у формі систем, основаних на знаннях, або інтелектуальних програмних агентів, в яких використовуються людські знання для розв'язання проблем. Із розвитком Інтернету використання інтелектуальних програмних агентів, або ботів, стає все більш масовим у різних додатках.

Із розвитком методів штучного інтелекту з'явився новий тип ІС – мультиагентні системи МАС та можливість використовувати мультиагентний підхід для підтримки прийняття рішень. МАС зародилися на перетині теорії систем і розподіленого штучного інтелекту.

МАС засновуються на базі інтелектуальних агентів, які взаємодіють з іншими агентами і мають функції адаптивної поведінки та навчання на прецедентах, а також толерантність до помилок. Усе це діє на рівних засадах з автономним виконанням завдань [3, с. 160].

Ключовим недоліком традиційних СППР є їх жорстко задана структура алгоритму пошуку оптимального рішення, неврахування людського фактору, а лише машинного. Найкраще рішення, оптимальний план складаються шляхом послідовного перебору варіантів у певному напрямі, згідно з чітко визначеним (детермінованим) алгоритмом. Новий підхід до вирішення управлінських завдань зв'язується з використанням мультиагентних технологій, що базуються на принципах взаємодії інтелектуальних програмних агентів: самоорганізації, конфліктизації та кооперації.

МАС використані для вирішення проблем та питань, які або складно, або неможливо вирішувати послугами одного агента чи монолітної системи. Головна перевага такої системи – це гнучкість, яку можна доповнювати і модифікувати без переписування великої частини програми. Такі системи здатні самовідновлюватись [4, с. 82].

В ІС, зокрема в СППР, програмні агенти можуть застосовуватися для пошуку в базах даних потрібної для користувача інформації з метою виявлення тенденцій або моделей, які ОПР міг пропустити чи не помітити. Перевагами цього підходу є те, що мультиагентна система в автономному режимі може адаптуватись до змін зовнішнього середовища, залежно від налагоджень системи може аналізувати навантаження та працювати в моменти його спадів, легко може бути розподілена для роботи у гетерогенному середовищі та добре масштабується. Оскільки кожен агент відповідає за дані лише в момент роботи, МАС може без втручання коригувати навантаження на техніку і водночас забезпечувати високу швидкість відповіді та можливості збереження змінних за структурою даних. Програмні агенти є цінними інструментальними засобами для допомоги користувачам СППР та виконавчих інформаційних систем в аналізі великих баз даних на безперервній основі, моделюванні реальних подій, які можуть включити в моделі для прийняття рішень реальний або приближений людський фактор.

МАС залежно від концепції розробки має такі типи архітектур [5, с. 260]:

1) архітектура, яка основана на методах роботи зі знанням. Для представлення та обробки знань вико-

ристовуються традиційні моделі, методи та засоби штучного інтелекту, а прийняття рішень робиться на основі механізмів формальних суджень;

2) архітектура, в якій використовуються поведінкові моделі. Моделі поведінки представлені наборами правил, які дають змогу вибрати дію залежно від ситуації;

3) гібридні архітектури. Комбінують та використовують можливості першого та другого типу архітектур.

З огляду на останні тенденції розвитку інформаційних технологій, необхідно будувати СППР із довільною кількістю внутрішніх серверів для формування інтеграційного базису для побудови цілісної інтегрованої системи ІК та програмним забезпеченням, що дає користувачам системи можливість працювати з ними через Інтернет із будь-якої апаратної платформи.

Процес самоорганізації в МСППР (мультиагентна система підтримки прийняття рішень) – це внутрішня впорядкованість, узгодженість, взаємодія більш або менш диференційованих і автономних агентів системи, зумовленої її будовою та архітектурою для ефективності прийняття рішень. У МСППР інтелектуальний агент інтегрується в блок вироблення рішень.

Аналізуючи сучасні системі, які можливо використати для спрощення та автоматизації про-

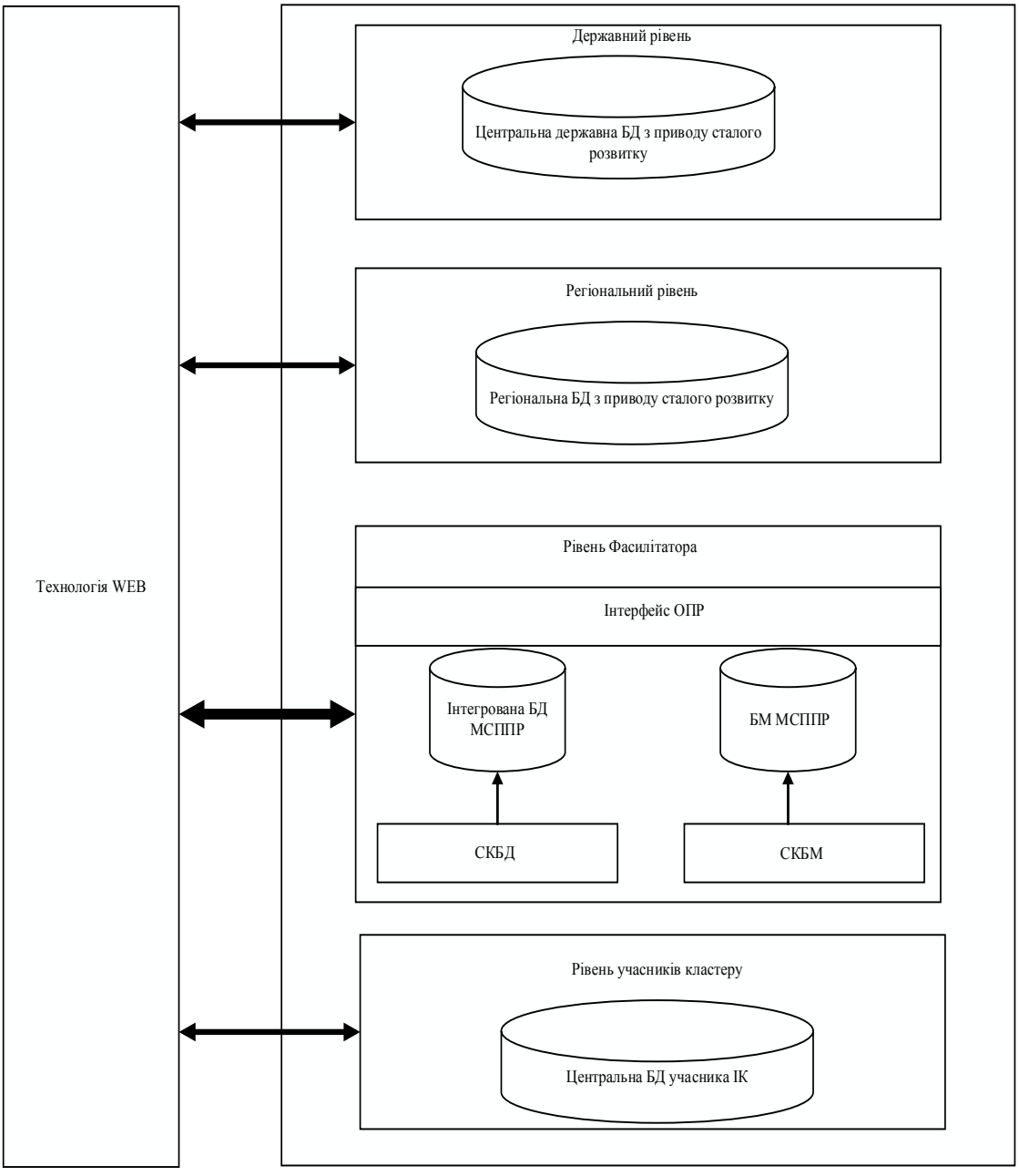


**Рис. 1. Загальна архітектура рівнів управління Web-орієнтованої МСППР**

*Джерело: розроблено автором*

цесів управління ІК, було вирішено використовувати Web-орієнтовану мультиагентну систему підтримки прийняття рішень. Необхідність використання Web-орієнтованої МСППР обумовлена такими чинниками:

- переваги Web-орієнтованих СППР;
- необхідність ураховувати декілька рівнів управління [6, с. 173];
- стрімкі зміни кон'юнктури ринкового середовища, в якому знаходиться ІК;
- можливість швидко змінити, настроїти поведінку інтелектуального програмного агента з бази моделей СППР;
- можливість урахувати ірраціональну поведінку учасника ІК під час прийняття рішень;
- складність та неоднозначність організаційної структури ІК.

Під час розробки архітектури МСППР для ІК потрібно враховувати всі рівні управління. Особливою перевагою мультиагентного підходу до створення СППР є підтримка відразу декількох рівнів управління. Оскільки ІК є каталізатором сталого розвитку економіки, в архітектурі представлені БД із приводу сталого розвитку регіону та країни в цілому. Збирання інформації для прийняття рішень відбувається, використовуючи Web-технології (Інтернет). Користувачем МСППР та ОПР є фасилітатор, тому всі дані, моделі та інтерфейс системи знаходяться на рівні фасилітатора. Обмін даними між учасниками, органами регіонального та державного управління відбувається за допомогою технології Інтернет.

Компоненти архітектури рівнів управління Web-орієнтованої МСППР складається з чотирьох блоків управління. Можна виділити такі складники:

- перший блок – це державний рівень, де формуються плани та прогнози сталого розвитку держави в цілому. Центральна державна база даних (БД) зберігає агреговані показники сталого розвитку та вплив ІК на регіони;
- другий блок – це регіональний рівень. В умовах децентралізації в регіоні відбувається координація діяльності ІК, фінансуються державні проекти ІК;
- третій блок – це рівень фасилітатора, який є центром СППР. На цьому рівні знаходяться система керування базою моделей (СКБМ), система керування базою даних СКБД та інтерфейс МСППР, використовуючи агентно-орієнтовану базу моделей та інтегровану БД, формуються формалізовані дані для прийняття рішень;
- четвертий блок – це рівень учасника ІК. Учасник відсилає основні дані для прийняття рішень фасилітатору залежно від своїх функцій (прибуток, витрати, рентабельність, обсяг виробництва, кредиту або інвестування та ін.), використовуючи Інтернет-технології.

У класичному значенні під час розробки складних програмних систем можна виділити такі етапи:

- визначення вимог до системи (розробка документації та технічних завдань, визначення термінів завершення розробки, аналіз предметної області, опис бізнес-процесів);
- проектування, або розробка архітектури (формування необхідних вимог до вхідних та вихідних даних, розробка алгоритму, оптимізація бізнес-процесів тощо);
- програмування, або розробка, самої системи;
- тестування;
- впровадження, або реалізація, системи.

Загальна архітектура рівнів управління Web-орієнтованої МСППР представлена на рис. 1.

Проблеми, які повинна вирішувати Web-орієнтована МСППР:

- аналізувати конкурентоспроможність ІК, регіону та держави в цілому, враховуючи основні показники сталого розвитку;
- оцінювати інвестиційну привабливість ІК та формувати сприятливий фінансово-інвестиційний ринок;
- формувати об'єктивні звіти для заохочення об'єднання малих та середніх підприємств у ділові мережі, формування регіональних кластерів підприємств та інституцій;
- оцінювати синергетичний ефект;
- інтегрувати дані з приводу діяльності ІК, регіону та держави. Створити єдиний реєстр ІК;
- створити єдину ІС, яка буде охоплювати всі рівні прийняття рішень із приводу сталого розвитку;
- ефективно розподіляти затрати та прибутки між учасниками ІК;
- зменшувати ризики учасників кластерів у зв'язку з моделюванням прийняття ефективних рішень;

Таблиця 1

**Перелік слабоструктурованих та неструктурованих рішень в ІК**

| Слабоструктуровані | Неструктуровані |
|---|---|
| - Експертна оцінка проектів<br>- Зменшення ризиків учасників кластерів<br>- Розподіл прибутків та затрат між учасниками<br>- Аналіз конкурентоспроможності<br>- Вибір оптимальних постачальників<br>- Оцінка інвестиційної привабливості<br>- Вибір оптимальних кредиторів для проекту | - Заохочення вступу малих та середніх підприємств до кластеру<br>- Пошук нових клієнтів та задоволення потреб існуючих<br>- Пошук зовнішніх інвесторів для ІК<br>- Прийняття рішень із приводу наукових розробок<br>- Розробка стратегії розвитку ІК |

*Джерело: розроблено автором*

- оцінювати доцільність входження нового учасника в ІК;

- зменшувати бюрократичний та корупційний впливу;

- шукати нових клієнтів та задовольняти потреби існуючих;

- проводити маркетингові дослідження та організацію виставок нових товарів та послуг.

Перелік основних слабоструктурованих та неструктурованих рішень в ІК, які повинен вирішувати фасилітатор за допомогою Web-орієнтованої МСППР, представлені в табл. 1.

Із бази моделей МСППР можливо виділити таких агентів: органи управління, фасилітатор, НДІ, контрагент, банк, інвестор. Прийняття рішень виконується на рівні фасилітатора за допомогою Web-інтерфейсу, який функціонує на ЕОМ.

Кожен агент МСППР виконує необхідні функції для прийняття рішення, імітуючи діяльність реального учасника ІК, тому для коректної роботи системи необхідна реальна відповідність агентів учасникам ІК, таким чином створивши так званий «штучний світ». Модель поведінки агентів зберігається в БМ.

Характеризуючи комп'ютерну архітектуру Web-орієнтованої МСППР, можливо виділити такі складники:

- центральний сервер, на якому зберігається БД, БМ, СКБД, СКБМ;

- із БМ-моделей формуються типи агентів для МСППР;

- система додатків об'єднує основні компоненти МСППР (БД, БМ, СКБД, СКБМ) для функціонування системи;

- Web-технології, або Інтернет-технології, виконують функції: пошуку інформації, представлення інформації, необхідної для прийняття рішень ОПР (фасилітатору) у будь-якій географічній області світу, де є доступ до Інтернету;

- інтерфейс Web-орієнтованої МСППР може бути представленим у вигляді додатка або використовуючи Інтернет-браузери, який установле-

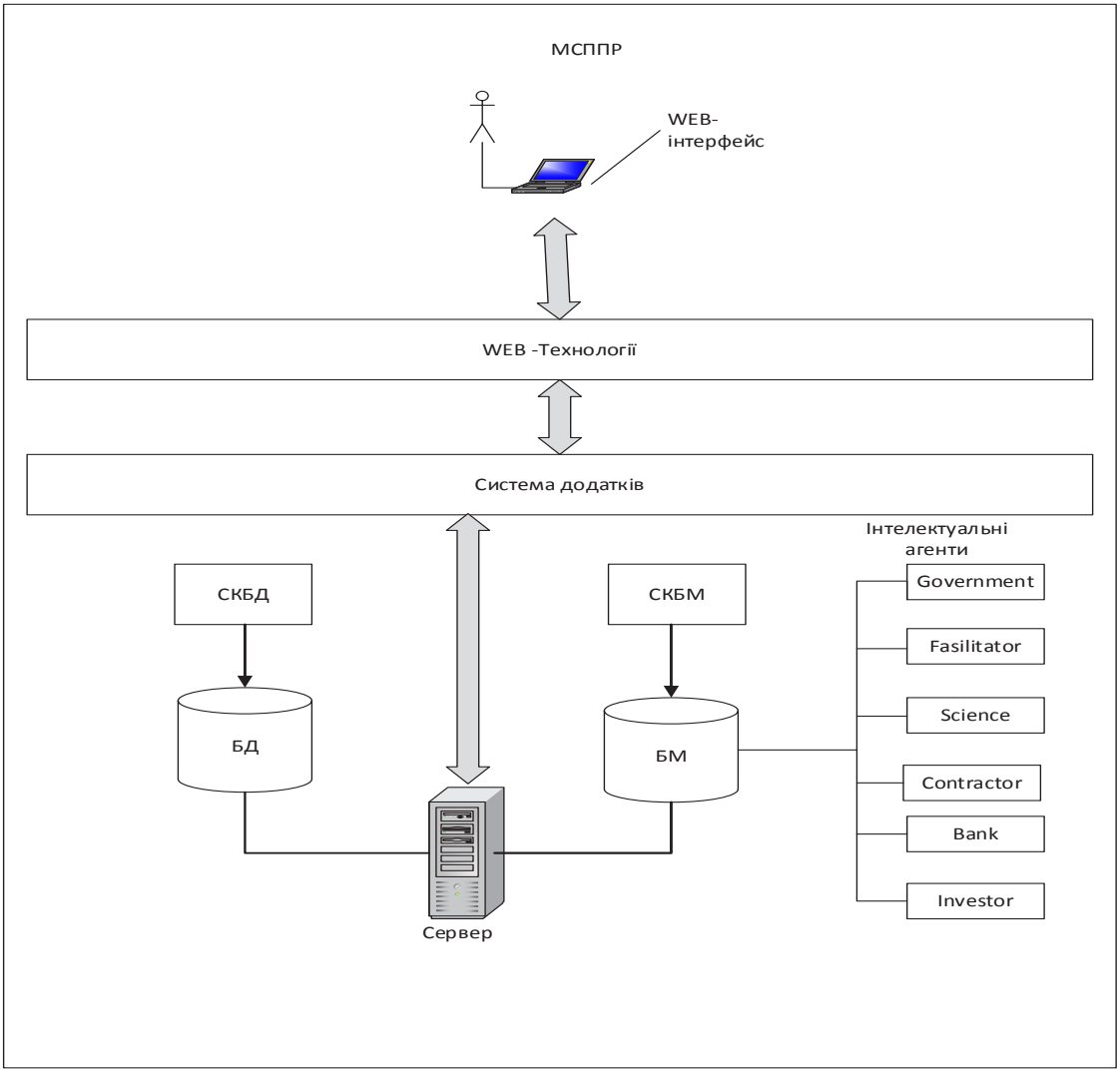


**Рис. 2. Комп'ютерна архітектура Web-орієнтованої МСППР**

*Джерело: розроблено автором*

ний на персональному комп'ютері, ноутбуці або мобільному гаджеті.

На основі розроблених моделей та алгоритмів можлива реалізація інтелектуальної мультиагентної системи підтримки прийняття рішень із процесів управління ІК або можливість оновлення програмного забезпечення багатокомпонентних інформаційних систем. Комп'ютерна архітектура Web-орієнтованої МСППР для фасилітатора представлена на рис. 2.

Для кожного агента Web-орієнтованої МСППР потрібно розробити окремий програмний модуль та їх взаємодію. Враховуючи учасників ІК, МСППР складається з таких модулів (підсистем) :

- модуль підтримки прийняття рішень науково-дослідницької діяльності ІК (НДІ);
- управління взаємовідносинами з контрагентами (постачальник, клієнти, виробники);
- модуль кредитування;
- центральний модуль прийняття рішень (ЦМПР);
- державне управління;
- інвестування.

Центральний програмний модуль МСППР є ЦМПР, у ньому синтезуються рішення та формується зв'язок між іншими модулями, відбувається розподіл ресурсів між агентами. Приймається рішення з приводу покриття затрат учасника кластера, виділення коштів інвестора в перспективні проекти або програми, необхідності кредиту або державного фінансування.

Модуль НДІ-взаємодії з центральним модулем ЦМПР, управління взаємовідносин з контрагентами, кредитування. Виконує експертні оцінки з приводу діяльності ІК та маркетингових досліджень. Аналізує оптимальні характеристики для розробки нової продукції. Підтримує процеси прийняття рішень із приводу науково-дослідної роботи ІК, шукаючи в мережі Інтернет найновішу та найперспективнішу інформацію з приводу інновацій.

Модуль управління взаємовідносинами з контрагентами взаємодіє з модулями ЦМПР, НДІ, кредитування. Формує підтримку прийняття рішень із приводу ефективного використання ресурсів для виробництва, довготривалі взаємовідносини зі старими клієнтами та пошук нових, пошук оптимальних постачальників та виробників, використовуючи з Інтернету сайти електронних магазинів (форумів) тощо.

Модуль кредитування інтегрується з модулями інвестування та ЦМПР. Основним агентом цього модуля є bank, який кредитує ЦМПР та виконує посередницьку функцію між агентами investor та fasilitator, формує рішення з приводу надання кредиту ІК та оптимального відсотка на нього, використовуючи Інтернет-сайти банків для пошуку задовільної кредитної ставки.

Модуль державного управління підтримує процес прийняття рішень в ІК із приводу державних замовлень та програм, доцільності фінансування ІК, пошук оптимальних показників ІК для сталого розвитку регіону та країни. Тісно взаємодіє з модулем ЦМПР, виконує координаційну, консультуючу, рекомендуючу та підтримуючу функції ІК. Реалізується, аналізується та надається нормативно-права база для формування рішень, яка формується з Інтернету.

Модуль інвестування взаємодіє з модулем кредитування та ЦМПР. Допомагає зовнішнім інвесторам прийняти рішення з приводу найбільш прибуткового та перспективного напряму ІК для інвестування коштів.

Очевидно, що вже на даному рівні абстракції кожен модуль МСППР представляє собою не пряме відображення один до одного у реальній сутності, а є прототипом для створення кількох однакових модулів, які під час взаємодії зможуть вирішувати завдання або паралельно, або працювати над різними завданнями одночасно.

Всі рішення МСППР в інноваційних кластерах приймаються з урахуванням нормативно-правої бази модуля державного управління та пріоритетів агента fasilitator.

Для функціонування будь-якої ІС необхідно вхідні дані. Вони формуються з OLTP (Online Transaction Processing) систем. Для Web-орієнтованої МСППР вхідними даними є:

- звіти про інвестиційну діяльність регіону та кластеру;
- звіти про платоспроможність банків;
- документація науково-дослідних розробок;
- дані про прибутки учасників кластеру до входу в ІК;
- державні статистичні дані та звіти з приводу сталого розвитку регіону;
- закон про інноваційну діяльність;
- закон про інвестиційну діяльність;
- дані маркетингових досліджень;
- статистика успішних проектів та напрямів ІК;
- дані про постійних, потенційних клієнтів.

Вихідні дані формуються на основі потреб прийняття рішень та завдань, які повинна вирішувати СППР. Вихідні дані Web-орієнтованої МСППР формуються у вигляді звітів, діаграм та графіків:

- звіт про оптимальний та найперспективніший проект для інвесторів ІК;
- звіт про кредиторів;
- звіт про експертну оцінку проектів та нових продуктів ІК;
- звіт про оптимальний розподіл прибутків та витрат учасників ІК;
- аналіз прибутків учасників до та після входження в ІК;
- звіт про виконання державних програм, проектів та замовлень для ІК;

- звіт про оптимальні показники діяльності ІК для максимального досягнення сталого розвитку регіону.

Доступ до БД та БМ МСППР здійснюється через Інтернет у режимі реального часу. Користувачу або ОПР, у даному випадку фасилітатору, необхідно зайти у свій особистий кабінет та ввести логін та пароль. Основні обчислювальні процеси та функціонування модулів СППР виконуються в системи додатків. На сервері зберігаються в БД дані з приводу прийняття рішень та редагується або додається агентно-орієнтована модель процесів управління ІК в БМ.

**Висновки з проведеного дослідження.** Розроблено архітектуру та практичні рекомендації Web-орієнтованої мультиагентної системи підтримки прийняття рішення, розглянуто вхідні та вихідні дані для функціонування системи. Подальші дослідження полягають у пошуку платформи для реалізації системи.

**БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:**

1. Новаківський І.І. Застосування штучного інтелекту для управління інноваційними процесами у ланцюгах вартості / І.І. Новаківський, Г.В. Рачинська // Віснник НУ «Львівська політехніка». – 2011. – № 720. – С. 303–309.

2. Ситник В.Ф. Системи підтримки прийняття рішень : навч. посіб. / В.Ф. Ситник ; Київ. нац. екон. ун-т. – К., 2004. – 614 с.

3. Ковальський П.В., Кравець П.О. Інформаційна мультиагентна система випробування стійкості алгоритмів шифрування даних / П.В. Ковальський, П.О. Кравець // Вісник НУ «Львівська політехніка». – 2008. – № 610. – С. 159–166.

4. Ібрагімхалілова Т.В. Альтернативні методи моделювання ефективного

механізму функціонування логістичної системи інноваційного типу / Т.В. Ібрагімхалілова // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2012. – № 1(172). – Ч. 2. – С. 81–85.

5. Андрейчиков А.В. Системный анализ и синтез стратегических решений в инноватике: математические, эвристические и интеллектуальные методы системного анализа и синтеза : [учеб. пособ.] / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова : изд. 3-е. – Москва : ЛЕНАНД, 2015. – 306 с.

6. Мельников В.В. Моделювання процесів підтримки прийняття рішень в інноваційних кластерах / В.В. Мельников // Бізнес Інформ. – 2016. – № 2. – С. 172–177.