

**Аулін В. В., Гриньків А. В., Головатий А. О.,
Лисенко С. В., Голуб Д. В., Кузик О.В., Тихий А. А.**

**МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ
ПРОЕКТУВАННЯ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ
І ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ**

Монографія

За загальною редакцією д.т.н., професора Ауліна В.В.

Кропивницький
Видавець Лисенко В.Ф.

2020

УДК 004.89:656.13:658.5
M54

Друкується згідно рішення вченої ради Центральноукраїнського національного технічного університету, протокол № 8 від 03.07.2020 р.

Рецензенти від академічної спільноти:

Сахно В. П. – д.т.н., проф., завідувач кафедри автомобілів, Національний транспортний університет

Керницький І. С. – д.т.н., проф., завідувач кафедри машинобудування, Львівський національний аграрний університет

Стухляк П. Д. – д.т.н., проф., кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя

Рецензенти від підприємств:

Лещенко В.В. директор ТОВ "ВІНГЗ ТРАНС (WINGS TRANS LLC)" (м.Житомир)

Кічура Р. П. директор ТОВ "ARK GROUP" (м. Кропивницький)

M54 **Аулін В. В., Гриньків А. В., Головатий А. О., Лисенко С. В., Голуб Д. В., Кузик О.В., Тихий А. А.**

Методологічні основи проектування та функціонування інтелектуальних транспортних і виробничих систем: монографія під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. – Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2020. – 428с.

ISBN 978-617-7813-27-8

В монографії запропоновано методологічні основи проектування та функціонування інтелектуальних транспортних і виробничих систем. З'ясовано сутність, характерні риси та специфіку інтелектуальних систем, їх роль в дослідженні показників цілей стійкого, надійного та ефективного розвитку з більш високим рівнем безпеки, мобільності та адаптивності. Наведено основи штучного інтелекту як теорії ефективних інтелектуальних систем. Показано, що інтелектуальні методи дослідження транспортних і виробничих систем є інструментарієм вирішення їх щоденних проблем і завдань, а також проведення прогнозування показників ефективності і надійності.

Розглянуто методи формування, представлення та обробки інформації (бази знань) в інтелектуальних системах. Дано аналіз методів нечітких множин, нейронних мереж, еволюційних процесів та генетичних алгоритмів, інтелектуального мультиагентного, використання системного, лінгвістичного синергетичного підходів та аналізів, розглянуто засоби комп'ютерної підтримки. Наведена реалізація інтелектуальних методів побудови та функціонування інтелектуальних транспортних та виробничих систем. Показано яким чином оцінюється їх ефективність.

Видання призначене науковим та інженерно-технічним співробітникам, які здійснюють дослідження питань проектування, експлуатації та управління транспортними і виробничими системами, процесами, їх надійності та ефективності, буде корисною викладачам, аспірантам, магістрам і студентам транспортних, машинобудівельних та агротехнічних ЗВО.

© Аулін В. В., Гриньків А. В.,
Головатий А. О., Лисенко С. В., Голуб Д. В.,
Кузик О.В., Тихий А. А., 2020

© Центральноукраїнський національний
технічний університет, 2020

© Видавець Лисенко В.Ф., 2020

ISBN 978-617-7813-27-8

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	стор. 8
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1. ПРОБЛЕМИ СТВОРЕННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ І ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ.....	14
1.1 Сутність, характерні риси та специфіка інтелектуальних транспортних і виробничих систем.....	14
1.2 Роль інтелектуальних транспортних систем в досягненні показників цілей їх стійкого розвитку.....	17
1.3 Методологія штучного інтелекту, як ключова ланка реалізації інтелектуальних транспортних і виробничих систем.....	22
1.4 Інтелектуальні інформаційні системи на транспортних і виробничих підприємствах та їх класифікація.....	24
1.5 Стан справ з впровадження інтелектуальних транспортних і виробничих систем.....	30
1.6 Розробка елементів штучних інтелектуальних систем при реалізації експертних систем.....	34
Висновки по розділу 1.....	42
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ (БАЗИ ЗНАЬ) В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМАХ.....	44
2.1 Стратегії формування інформації (бази знань) в інтелектуальних системах.....	44
2.2 Методи формування інформації в інтелектуальних системах.....	53
2.3 Побудова баз інформації (знань) для експертних систем діагностики.....	67
2.4 Проблеми навчання інтелектуальних систем різної природи.....	70
2.5 Засоби комп'ютерної підтримки отримання інформації (множини знань) в інтелектуальних системах.....	76
2.6 Інтелектуальний аналіз наявних інформаційних баз даних про можливості функціонування транспортних і виробничих систем.....	79
Висновки по розділу 2.....	85
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ І ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМАХ	88
3.1 Відмінність бази знань від бази даних в інтелектуальних системах.....	88
3.2 Типові моделі представлення інформації в інтелектуальних системах.....	90
3.2.1 Логічна модель представлення інформації в інтелектуальних системах.....	90
3.2.2 Продукційна модель представлення інформації в	

інтелектуальних системах.....	93
3.2.3 Фреймова модель представлення інформації в інтелектуальній системі.....	95
3.2.4 Семантична модель представлення інформації в інтелектуальних системах.....	97
3.3 Методи обробки інформації в інтелектуальних транспортних і виробничих системах.....	98
3.3.1 Комп'ютерна обробка інформації в інтелектуальних системах при організації управління стратегією логічного висновку.....	98
3.3.2 Силогізм переходу від передумов до логічного висновку.....	99
3.3.3 Метод тавтології в процедурах логічного висновку в інтелектуальних системах.....	100
3.3.4 Методи стратегії доведення в інтелектуальних системах.....	102
3.3.5 Алгоритм уніфікації предикатних логічних формул, евристичних правил компонентів та операцій в експертних системах продукційного типу.....	105
3.4 Методи прямого і зворотного доведень в стратегіях пошуку певних шляхів рішень проблем і завдань в системах продукційного типу.....	108
3.4.1 Прямі доведення з використанням існуючих наборів правил без їх конфліктних наборів.....	108
3.4.2 Зворотне доведення з використанням безконфліктного набору правил з наявної їх сукупності.....	109
3.4.3 Фреймові та продукційні системи, їх структури та стратегії розвитку.....	110
3.5 Розробка інтелектуальних транспортних і виробничих систем з використанням типових моделей подання інформації та її обробка на фреймовій основі.....	116
Висновки по розділу 3.....	118
ГЛАВА 4. ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ НЕЧІТКИХ МНОЖИН ПРИ ПРОЕКТУВАННІ І ФУНКЦІОНУВАННІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ ТА ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ.....	120
4.1 Нечіткості інформації (множини знань) та способи їх врахування і усунення в інтелектуальних системах.....	120
4.2 Нечіткі множини та нечіткі висновки.....	129
4.3 Комп'ютерна обробка нечіткої інформації (множини знань) про стан і поведінку інтелектуальних систем.....	135
4.4 Нечітка логіка при формуванні нечіткого логічного висновку в завданнях прийняття рішень, діагностики і прогнозування в інтелектуальних системах.....	137
4.5 Прогнозування розвитку інтелектуальних транспортних та виробничих систем на основі нечіткої логіки.....	141
4.6 Програмні засоби та області їх використання при роботі з	

нечіткою інформацією в процесі створення та функціонування інтелектуальних систем	147
Висновки по розділу 4.....	149
РОЗДІЛ 5. ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ПРИ СТВОРЕННІ ТА АДАПТАЦІЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ І ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ ДО ДИНАМІЧНИХ УМОВ ЇХ ФУНКЦІОНУВАННЯ.....	152
5.1 Загальна характеристика моделі штучного нейрону.....	152
5.2 Моделі нейронних мереж, що поширені на практиці.....	155
5.3 Методи та етапи побудови моделі штучної нейронної мережі.....	159
5.4 Адаптація нейронних мереж до умов комплексу динамічних завдань та умов навчання.....	161
5.5 Способи та варіанти реалізації нейронних мереж.....	164
5.6 Використання методів нейромережових технологій в функціонуванні та прогнозуванні характеристик транспортних і виробничих систем.....	167
Висновки по розділу 5.....	171
РОЗДІЛ 6. ЕВОЛЮЦІЙНІ МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ГЕНЕТИЧНІ АЛГОРИТМИ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ І ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМАХ.....	173
6.1 Моделювання еволюційних процесів та генетичні алгоритми в інтелектуальних системах.....	173
6.2 Генетичні схеми пошуку оптимальних рішень в інтелектуальних системах.....	179
6.3 Програмні засоби реалізації генетичних алгоритмів на персональному комп'ютері.....	188
6.4 Методи генетичного та еволюційного програмування.....	191
6.5 Приклади практичного застосування генетичних алгоритмів для створення і функціонування інтелектуальних транспортних і виробничих систем.....	199
Висновки по розділу 6.....	203
РОЗДІЛ 7. ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МУЛЬТИАГЕНТНОГО МЕТОДУ ПРИ СТВОРЕННІ ТА ФУНКЦІОНУВАННІ ТРАНСПОРТНИХ ТА ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ.....	206
7.1 Сутність і зміст методу інтелектуальних агентів.....	206
7.2 Колективність поведінки агентів в інтелектуальних системах.....	210
7.3 Приклади створення та функціонування мультиагентних систем..	215
7.4 Технології створення та перспективи розвитку мультиагентних систем.....	221
Висновки по розділу 7.....	227
РОЗДІЛ 8. МЕТОДИ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ І ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ.....	229
8.1 Проблеми проектування інтелектуальних транспортних і	

виробничих систем.....	229
8.2 Системний підхід до побудови і дослідження інтелектуальних транспортних і виробничих систем.....	231
8.3 Засоби комп'ютерної підтримки та удосконалення (реінжиніринг) інтелектуальних систем.....	237
8.4 Метод колективного вибору рішень в інтелектуальних системах.....	240
8.5 Метод еволюційного синтезу станів інтелектуальних систем.....	256
8.6 Метод синтезу сценаріїв функціонування складних інтелектуальних систем з точки зору логіки.....	268
Висновки по розділу 8.....	278
РОЗДІЛ 9. МЕТОДИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ СТВОРЕННЯ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ В УКРАЇНІ.....	282
9.1 Створення інтелектуальних транспортних систем в Україні на основі європейського досвіду.....	282
9.2 Функції інтелектуальності транспортних систем та їх архітектура.....	286
9.3 Сучасний можливий розвиток інтелектуальних транспортних систем в Україні та світовий досвід становлення їх проєктів.....	294
9.4 Система та ієрархічна структура управління потоками в інтелектуальних транспортних системах	304
9.5 Сучасні інтелектуальні системи підвищення безпеки дорожнього руху.....	306
9.6 Деякі тенденції розвитку систем інтелектуальних автомобілів.....	312
Висновки по розділу 9.....	318
РОЗДІЛ 10. ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ В УКРАЇНІ.....	322
10.1 Сутність проблем виробничих систем на прикладі виробництва зернових сіялок з підвищеною ефективністю	322
10.2 Існуючі критерії ефективності зернових сіялок за конструкцією і робочим процесом.....	325
10.3 Тенденції розвитку і вдосконалення посівних машин, висівних апаратів і систем на основі фізичних процесів, фізико-технічних методів та принципів інтелектуалізації	328
10.4. Вибір інтелектуальних методів і методик аналізу показників ефективності виробництва зернових сіялок.....	334
10.5 Закономірності розвитку технічного рівня та прогнозування показників ефективності зернових сіялок з механічними висівними апаратами на основі інтелектуальних методів.....	336
10.6 Закономірності розвитку технічного рівня та прогнозування	

показників ефективності зернових сівалок з пневматичними централізованими висівними системами на основі інтелектуальних методів.....	347
10.7 Критерій ефективності конструкцій і робочого процесу зернових сівалок з інтелектуальними елементами.....	353
Висновки по розділу 10.....	363
Список використаних джерел.....	368

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

АПВ – агропромислове виробництво
АСУ – автоматизовані системи управління
АСУД – автоматизовані системи управління дорожнім рухом
БД – база даних
БЗ – база знань
БП – база правил
ВЗП – віброзахисні пристрої
ВНП – валовий національний продукт
ГА – генетичні алгоритми
ГП – генетичне програмування
ДНК – дезоксирибонуклеїнова кислота
ДО – діюча особа
ДТП – дорожньо-транспортна пригода
ЕП – еволюційне програмування
ЕС – експертні системи
ЗПР – завдання прийняття рішень
ІВЗ – інтелектуальні виробничі засоби
ІВС – інтелектуальні виробничі системи
ІС – інтелектуальна інформаційна система
ІКТ – інформаційно-комунікаційні технології
ІНМ – інтелектуальна нейронна мережа
ІНС – інтелектуальні навчаючі системи
ІС – інтелектуальні системи
ІТ – інформаційні технології
ІТЗ – інтелектуальні транспортні засоби
ІТС – інтелектуальні транспортні системи
КВТ – комітет з внутрішнього транспорту
ККД – коефіцієнт корисної дії
КС – комп'ютерні системи
ЛЗ – лінгвістичні змінні
ЛП – локальні підсистеми
МАС – мультиагентні системи
МНК – метод найменших квадратів
МНМ – модель нейронної мережі
МПГТ – міський пасажирський громадський транспорт
МТА – машинно-тракторні агрегати;
ООН – організація об'єднаних націй
ПЗ – програмні засоби
ПК – персональний комп'ютер
ПМ – природно-мовний
ПММ – паливно-мастильні матеріали
ПНФ – попередження нормальної форми
ППЛФ – правильно побудована логічна формула

ППФ – правильно побудована формула
 ПЦВС – пневматична централізована висівна система
 РП – робоча пам'ять
 СГВ – сільськогосподарське виробництво
 СГМ – сільськогосподарські машини
 СГТ – сільськогосподарська техніка;
 СЗЗ – системи засновані на знаннях
 СНІС – самонавчальні інтелектуальні системи
 ТДК – транспортно-дорожній комплекс
 ФПС – функціональна підсистема
 ЦУР – цілі усталеного розвитку
 ШІ – штучний інтелект
 ШНМ – штучна нейронна мережа
 ШНС – штучна нейронна система
 ADASIS – Advanced Driver Assistant Systems Interface Specification
 AGILE – Application of Galileo in the Location-Based Service Environment
 AIDE – Adaptive Integrated Driver-Vehicle Interface
 BDI – Belief Desire Intention
 BI – Business Intelligence
 BPR – Business Process Reengineering
 CEN – European Committee for Standardization
 CORBA – Common Object Request Broker Architecture
 CSS – California Scientific Software
 DCOM – Microsoft Distributed Component Object Model
 DM & KDD – Data Mining і Knowledge Discovery in Databases – "набуття даних" і "виявлення інформації (знань) в базах даних"
 ENITE – European Network on ITS Training & Education
 ERTRAC – The European Road Transport Research Advisory Council
 ESP21 – European Security Partnership for the 21st Century
 EuroFOT – European Large-Scale Field Operational Tests on In-Vehicle Systems
 FOT-NET – Networking for Field Operational Tests
 FRL – Frame Representation Language
 GST – Global System for Telematics
 IDEF – Icam DEFinition
 KRL – Knowledge Representation Language
 MODIBEC – Building Cooperation on digital broadcasting convergence with mobile communications between Europe and China
 MPP – Modus Ponendo Ponens
 OLAP – On-Line Analytical Processing - оперативний аналіз даних
 RADL – Reticular Agent Definition Language
 RMI – Remote Method Invocation
 SISTER – Promoting the integration of satellite and terrestrial communication with GALILEO for road transport
 TLRN – Time Lagged Recurrent Network

Для забезпечення стійкого, надійного і ефективного функціонування транспорту і промисловості та їх мобільності необхідна розробка і впровадження інформаційно-комунікаційних технологій та методів інтелектуалізації. Стійка мобільність інтелектуальних транспортних і виробничих систем потребують нових підходів та розробки методологічних основ їх проектування, функціонування і удосконалення. Це необхідно не тільки для виявлення і зменшення впливу негативних аспектів, але для гарантування їх глобальної трансформації, що забезпечить загальний доступ та прийнятну за вартістю мобільність. Крім цього інтелектуальні транспортні і виробничі системи повинні мати більш високий рівень безпеки і надійності з мінімальними побічними ефектами впливу на зовнішнє середовище і соціальну обстановку.

Інтелектуальні системи засновані на передових технологіях впровадження, які орієнтуються на надання інноваційних послуг у сфері управління рухом стосовно різних видів транспорту з підвищенням інформованості користувачів. Виявлено ряд можливостей використання транспортної мережі та сукупності виробничих процесів в більш безпечному, скоординованому, тобто інтелектуальному режимі функціонування. Інтелектуальні і виробничі системи об'єднують комунікації, електронне обладнання та інформаційні технології, інжиніринг, що дає можливість їх планувати, розробляти, експлуатувати, обслуговувати та управляти ними. Важливим в цій області є дослідження інтелектуальних транспортних і виробничих засобів, особливо це кооперативні розробки, які дозволяють підтримувати зв'язок між собою або з об'єктом інфраструктури. З'ясовано, що інтелектуальні транспортні і виробничі системи можуть виступати в якості каталізатора досягнення стійкої мобільності й забезпечення формуванню максимальної ефективності транспортних послуг і виробництва продукції та інфраструктури, а також запропоновано цільові показники та методи.

Теоретичною основою створення ефективних інтелектуальних транспортних та виробничих систем є штучний інтелект. Основною метою побудови таких систем є виявлення, дослідження та застосування знань висококваліфікованих експертів для вирішення складних проблем та завдань, що виникають під час їх функціонування. На концепції використання інформації (бази знань) для генерації алгоритмів вирішення прикладних проблем і завдань різних класів транспортних та виробничих систем засновані інтелектуальні інформаційні системи, для яких характерні наступні ознаки: розвинуті комунікативні здатності, вміння вирішувати складні слабоформалізовані завдання; здатність до самонавчання, адаптивність. Зазначені ознаки підсилюються методами штучного інтелекту. Показано, що головною відмінністю експертних систем і систем штучного інтелекту від систем обробки інформації (бази даних) є використання символічного, а не числового способу їх представлення. Тому в якості методів застосовується процедури логічного висновку і евристичного пошуку рішень.

В інтелектуальних системах важливе місце займають самонавчальні інтелектуальні системи, що засновані на методах автоматичної класифікації ситуацій з реальної практики, або на методах навчання на прикладах реальних ситуацій, які складають навчальну вибірку, сформовану протягом певного періоду.

Протягом останніх років спостерігається прискорення темпів впровадження інтелектуальних систем не як технологій майбутнього, а як інструментарію вирішення щоденних транспортних і виробничих проблем і завдань. Передусім це технології створення штучних інтелектуальних систем на прикладі розробки інтелектуальних експертних систем. Це питання ґрунтовно розглядається в даній монографії.

В інтелектуальних системах вирішальну роль відіграють методи формування інформації (бази знань). Важливими є стратегія, аспекти також структура, особливо при спілкуванні між експертами і аналітиком. Для структурування інформації використовують структурний і об'єктивний підхід, виділяють рівень страти, категорію знань та застосовують сукупність різних видів аналізів предметної області інтелектуальної системи: стратегічний, організаційний, функціональний, просторовий, тимчасовий, причинно-послідовний та економічний. Використовується також різні методи формування інформації (бази знань). Порівняльним аналізом виявлені їх переваги та недоліки, оскільки отримання інформації є процесом навчання системи, то виявлено ряд проблем, пов'язаних в інтелектуальних системах: з отриманням інформації без логічних висновків: отримання інформації ззовні; навчання за прикладом; отримання інформації на метарівні.

Проблема автоматизованого отримання (знань) пов'язана з розробкою спеціальних інформаційних технологій, що забезпечують підтримання процедури отримання і структурування інформації (знань). Інтелектуальні системи передбачають використання методів та засобів інтелектуального аналізу, який є один з нових напрямків інтелектуальної інформації.

Розглянуті методи представлення та обробки інформації в інтелектуальних транспортних і виробничих системах дають можливість побудувати типові моделі представлення інформації (знань): логічна, продукційна, фреймова, семантична. При обробці інформації інтелектуальних транспортних і виробничих системах доцільним є використання наступних методів: комп'ютерний, сілогізматичний, тавтологічний. Використовується алгоритм уніфікації предикатних логічних формул, евристичних правих компонентів та операцій в експертних системах продукційного типу, а також методи прямого і зворотного доведення в стратегіях пошуку певних шляхів рішень. Показано як проводиться розробка інтелектуальних транспортних і виробничих систем з використанням типових моделей подання інформації (бази знань) та їх обробка на фреймовій основі.

Обґрунтовано використання методів нечітких множин при проектуванні та функціонуванні інтелектуальних транспортних і виробничих систем. Викладено основи теорії нечітких множин та формування нечітких висновків, а також комп'ютерну обробку нечіткої інформації (множини знань)

про стан і поведінку систем, а також прогнозування їх розвитку. Наведено програмні засоби та області їх використання при роботі з нечіткою інформацією.

При створенні та адаптації інтелектуальних транспортних і виробничих систем до динамічних умов функціонування доцільні використання методу нейронних мереж та розгляд основних методів та етапів побудови штучної нейронної мережі, способів та варіантів їх реалізації, а також адаптація нейронних мереж до умов комплексу динамічних завдань та навчання.

В інтелектуальних системах використовують моделювання еволюційних процесів та генетичні алгоритми, розглядаються генетичні системи пошуку оптимальних рішень, наводяться програмні засоби реалізації генетичних алгоритмів на персональному комп'ютері. Аналізують методи генетичного та еволюційного програмування та розглядаються приклади застосування генетичних алгоритмів для проектування і функціонування інтелектуальних транспортних і виробничих систем.

При проектуванні та функціонуванні інтелектуальних систем використовується інтелектуальний мультиагентний метод, розглядається індивідуальна та колективна поведінка агентів. Наведемо приклади створення, функціонування та перспективи розвитку мультиагентних систем. Розв'язання проблеми проектування та вдосконалення інтелектуальних транспортних і виробничих систем передбачає використання системного, лінгвістичного, синергетичного підходів та аналізів, а також різних підходів до їх моделювання: статистичний, структурно-функціональний, ситуаційний, імітаційний. Розглянуто засоби комп'ютерної підтримки та удосконалення (реінжиніринг) інтелектуальних систем, метод колективного вибору рішень, метод еволюційного синтезу станів інтелектуальних систем та побудовано його алгоритм, метод синтезу сценаріїв розвитку систем з точки зору логіки.

Щоб оцінити ефективність створення та функціонування інтелектуальних транспортних систем слід використати методи оцінки. З'ясовано основні функції інтелектуальності транспортних систем та їх архітектура. Дано аналіз сучасним можливостям розв'язку інтелектуальних транспортних систем в Україні та світовий досвід становлення їх проектів. Розглянуто принципи управління потоками в інтелектуальних транспортних системах, сучасні інтелектуальні системи підвищення безпеки дорожнього руху та з'ясовано деякі тенденції розвитку системи інтелектуальних автомобілів.

На прикладі виробництва зернових сівалок розглянуто інтелектуальні методи підвищення ефективності виробничих систем, сутність проблеми виробництва, існуючі критерії ефективності, тенденції розвитку і вдосконалення посівних машин, висівних агрегатів і систем на основі фізичних процесів і фізико-технічних методів. Показано як здійснюється вибір інтелектуальних методів і методик аналізу показників ефективності виробництва зернових сівалок, закономірності розвитку технічного рівня та прогнозування показників ефективності зернових сівалок з механічними та

пневматичними централізованими висівними апаратами. Запропоновані критерії ефективності.

В монографії розглянута сукупність інтелектуальних методів та їх теоретичні обґрунтування. Виявлені можливості реалізації інтелектуальних та виробничих систем, інтелектуальних експертних та інформаційних систем являє науковий та практичний інтерес. Тому створення методологічних основ проектування та функціонування інтелектуальних систем є безумовно актуальною науково-практичною проблемою, розв'язання якої підвищить ефективність розвитку, надійність та адаптивність до зовнішнього середовища транспортних та виробничих систем в Україні на макро-, мезо- та мікрорівні.

РОЗДІЛ 1. ПРОБЛЕМИ СТВОРЕННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ І ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

1.1 Сутність, характерні риси та специфіка інтелектуальних транспортних і виробничих систем

Розробка та впровадження інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) з метою підвищення ефективності транспортних та виробничих систем методами інтелектуалізації здійснює істотний вплив на їх здатність у досягнення стійкої мобільності, ефективності та надійності.

Інтелектуальні транспортні системи (ІТС) володіють сукупністю системних змін, спрямованих на надання надійних інноваційних послуг різними видами транспорту та досягнення його стійкої мобільності через підвищення ефективності, безпеки і екологічності [1]. ІТС розглядаються ключовими зацікавленими сторонами в якості сполученої ланки, що дозволяє усунути існуючий в даний час розрив на рівні взаємозв'язку між транспортними системами. Нормативно-правова база не в повній мірі відповідає етапам розробки та впровадження сучасних ІТС, а також інтелектуальних виробничих систем (ІВС). Це спричинено фрагментальним їх розвитком, а також дуже різною можливою потребою на різних територіях держав, що в свою чергу не створює належні умови для узгодженої на міжнародному рівні політики в галузі транспорту і промисловості, а в деяких їх аспектах – повною відсутністю будь-яких нормативних положень. І якщо у вирішенні конкретних технічних проблем досягнуто істотний прогрес, то питання транспортної політики та інституційних заходів горизонтального характеру в теперішній час обговорюються лише в небагатьох країнах.

Щоб забезпечити стійке функціонування і мобільність транспорту і промисловості, необхідне використання при проєктуванні системного підходу, спрямоване отримання істотних результатів на основі системного підходу. Серед них підвищення безпеки дорожнього руху та енергоефективності транспорту, скорочення викидів парникових газів і забруднювачів, охорона праці на виробничих підприємств, а також розширення частки поновлюваних джерел енергії. Каталізатором цього може бути ІКТ [2].

Для успішного сприяння переходу до стійкої мобільності ІТС і ІВС потрібен новий підхід та методологія до їх розвитку. Глобальні тенденції широкомасштабного характеру, при цьому пов'язані з демографічною динамікою, зростанням торгівлі та стрімкою урбанізацією, їх вплив на навколишнє середовище, а також, уразливістю транспортної і промислової інфраструктури перед наслідками зміни клімату. Зазначені фактори обумовлюють необхідність трансформувати і адаптувати транспортні та виробничі системи, щоб забезпечити їх стійке і ефективне функціонування. Прийняття одних лише традиційних заходів поліпшення транспортних та виробничих систем на сьогодні вже недостатньо для вирішення накопичених системних і взаємопов'язаних проблем. Необхідністю є підходи, які б

дозволили не тільки зменшити роль негативних аспектів транспортних та виробничих систем, але й одночасно гарантування їх глобальної трансформації в інтелектуальні системи (ІС), що забезпечить загальний доступ і прийнятну за вартістю мобільність.

Крім того, ІТС та ІВС майбутнього повинні мати більш високий рівень безпеки і надійності з мінімальними побічними ефектами впливу на навколишнє середовище і соціальну обстановку. За умови впровадження технологій ІТС та ІВС є можливість: перегляду парадигми, а також зменшити секторальний розрив розвитку суспільства та природного середовища при реалізації рішень, заснованих на використанні ІКТ.

Створення ІТС вважають одним з ключових факторів підтримки ролі транспортного сектора, в тому числі і адаптації до кліматичних змін і пом'якшення їх наслідків. За підсумками засідання "за круглим столом" на рівні міністрів в ході двадцять другого Всесвітнього конгресу з ІТС, який відбувся в Бордо (Франція) 5-9 жовтня 2015 року, було прийнято Маніфест Бордо – "Роль ІТС в рішенні проблем, пов'язаних зі зміною клімату" [3]. У цьому документі чітко визнається незамінна роль ІТС в тому, що стосується вкладу транспортних систем в процес досягнення показників:

- ІТС можуть сприяти скороченню викидів CO_2 і рівня забруднення повітря в містах завдяки оптимізації управління мережами і стимулювання екологічного водіння, а також більш часте використання громадського транспорту і видів транспорту з більш низькими викидами вуглецю замість власних автомобілів;

- в рамках комплексного підходу, необхідного для скорочення викидів CO_2 , ІТС дозволяють сформувати в єдиний зв'язок усі службові ланки: підключення до мережі і автономні транспортні засоби; супутникові навігації; електромобільні; керування вільними паркувальними місцями в місті; логістичні ланки та формування транспортних потоків при мінімальному екологічному впливі.

ІТС характеризують як такі, що засновані на передових технологіях впровадження, які націлені на надання інноваційних послуг у сфері управління рухом стосовно різних видів транспорту і які сприяють підвищенню інформованості користувачів. Виявлення можливості ряд використання транспортні мережі в більш безпечному, скоординованому, тобто інтелектуальному режимі функціонування.

Застосування ІТС сприяє досягненню стійкої мобільності за рахунок того, що транспорт стає більш ефективним, безпечним і екологічним. ІТС можна також розглядати як будь-яку систему послуг по перевезенню пасажирів або вантажів, ефективну з економічної точки зору.

ІТС та ІВС об'єднують телекомунікації, електронне обладнання та інформаційні технології (ІТ) з транспортним та виробничим інжинірингом, що дозволяє планувати, розробляти, експлуатувати і обслуговувати транспортні та виробничі системи і управляти ними. Застосування ІКТ на різних видах транспорту істотно допомагає оптимізувати використання існуючих транспортних мереж, зменшити шкідливі наслідки для

навколишнього середовища, підвищити ефективність, в тому числі енергоефективність, і мобільність пасажиро- і вантажопотоків, підвищити безпеку і надійність, в тому числі при перевезенні небезпечних вантажів, і одночасно сприяти економічному зростанню, а також підвищенню показників конкурентоспроможності і зайнятості.

ІТС та ІВС включають в себе найсучасніші мехатронні та електронні пристрої, які розробляються з урахуванням конкретних їх потреб. Це дозволяє передавати інформацію, що надходить учасникам дорожнього руху і правоохоронним органам в режимі реального часу. ІТС, які вбудовуються в транспортні засоби і встановлюються на дорогах, використовують технології, які мають відношення до автоматизації водіння транспортними засобами і управління транспортними потоками. Новітні технології на транспорті підвищують безпеку транспортних засобів та інфраструктури і забезпечують безперебійний і зручний режим перевезення пасажирів і вантажів за допомогою задіяння відповідних функцій транспортних засобів та інтерактивної взаємодії їх з дорожньою інфраструктурою та іншими транспортними засобами. В такому напрямку автономні пристрої допомагають водіям підтримувати безпечну швидкість і дистанцію, триматися в межах смуги, уникати обгону в критичних ситуаціях і безпечно проїжджати перехрестя, що позитивно позначається на безпеці і управлінні дорожнім рухом. Можливі і додаткові переваги у випадках постійного підтримування зв'язків транспортних засобів один з одним і з дорожньою інфраструктурою.

В останні роки дослідження в області інтелектуальних транспортних (ІТЗ) та виробничих (ІВЗ) засобів, в основному, ведуться в напрямку розробки кооперативних ІТЗ (К-ІТЗ) та ІВЗ (К-ІВЗ), які дозволяють підтримувати зв'язок між собою або з об'єктами інфраструктури. Кооперативні ІТЗ дозволяють істотно підвищити якість і надійність інформації про транспортні засоби, їх місцезнаходження і обстановку на дорозі. Зазначені ІТЗ сприяють підвищенню якості існуючих і появи нових послуг, а також істотну користь в соціальному і економічному плані та підвищить ефективність і безпеку транспорту. Крім того ІТЗ забезпечують широкую інтеграцію в рамках транспортних систем через використання таких впроваджень, як надання квитків "від дверей до дверей" для осіб, що здійснюють регулярні маятникові поїздки.

Впровадження, які вже доступні, дають користувачам можливість оптимізувати індивідуальні транспортні маршрути з урахуванням різних видів транспорту, надаючи рекомендації щодо визначення та розробок найбільш оптимальних комбінацій транспортних послуг. Аналогічна концепція може бути розроблена і застосована також до вантажних перевезень при оптимізації транспортних маршрутів і видів транспорту на шляху від виробників до споживачів, що дає додаткові переваги як першим, так і другим, а також скорочує шкідливий вплив на навколишнє середовище.

1.2 Роль інтелектуальних транспортних систем в досягненні показників цілей їх стійкого розвитку

Виходячи із визначення ІТС можна розглядати як фактор, що сприяє реалізації політики пом'якшення найбільш негативних аспектів транспортних систем: стягування плати за в'їзд в місця скупчення автомобільного транспорту, плати за викиди і т.д. В той час ІТС дають можливість здійснити досягнення суспільної мобільності на більш рівноправній основі: для пішоходів, велосипедистів та інших вразливих учасників дорожнього руху – в умовах домінування автомобілів на дорогах, а також підвищення ефективності режиму торгівлі товарами в процесі доставки вантажів. Таким чином, ІТС може виступати в якості каталізатора зусиль по досягненню стійкої мобільності і одночасно є основним інструментом забезпечення максимальної ефективності транспортних послуг та інфраструктури.

На рисунку 1.1 відображено взаємодія цільових груп показників, що здійснюють вплив на розвиток ІТС. Аналогічно це стосується і ІВС. Цільові показники та їх реалізація зведено до табл.1, як ряд конкретних програм ІТС і ІВС, які здатні реалізувати безпосередній внесок в досягнення відповідних показників цілей їх усталеного розвитку (ЦУР), а отже, зіграти важливу роль у забезпеченні стійкої мобільності.

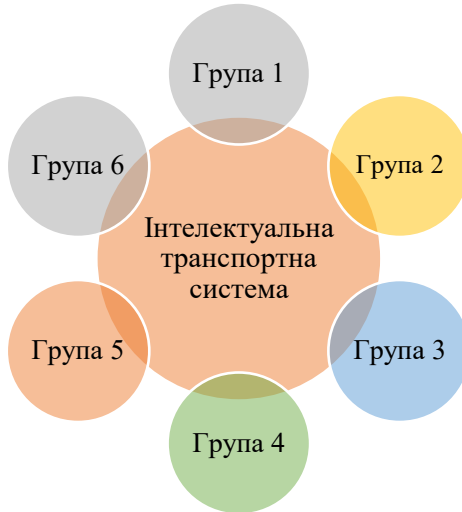


Рисунок 1.1 - Взаємодія цільових груп, що здійснюють вплив на розвиток інтелектуальних транспортних систем

Таблиця 1.1 – Групи цільових показників інтелектуальних транспортних систем та методи забезпечення їх усталеного розвитку

Група 1	
Цільові показники	<p>1. Скорочене в два рази число смертей і травм в результаті дорожньо-транспортних пригод (ДТП).</p> <p>2. Скорочення кількості випадків смертей і захворювань під впливом небезпечних хімічних речовин і забруднення і отруєння повітря, води і ґрунтів.</p>
Методи забезпечення усталеного розвитку	<p>1. Система запобігання зіткнень автомобілів використовує радар, а в деяких випадках лазерні датчики і відеодатчики для виявлення безпосередньої небезпеки зіткнення.</p> <p>2. Системи допомоги при водінні, засновані на технології "інтелектуальних" датчиків, що здійснюють постійний моніторинг обстановки навколо транспортного засобу і поведінки водія при водінні. Вони на ранній стадії виявляють потенційно небезпечні ситуації і здійснюють активну підтримку водія.</p>
Група 2	
Цільові показники	<p>1. Формування мережі з надійним та економічно доступним енергопостачанням.</p> <p>2. Значне збільшення частки енергії з поновлюваних джерел в світовому енергетичному балансі.</p> <p>3. Подвоєння глобального показника підвищення енергоефективності</p>
Методи забезпечення усталеного розвитку	<p>1. Забезпечення надійного джерела електроенергії для транспортних засобів завдяки програмам на базі "розумної" електромережі або за допомогою використання:</p> <ul style="list-style-type: none"> – автобусів зі швидкісної підзарядкою на "флеш-станціях", наприклад, автобусів, подібні тим, які беруть участь в пілотному проекті TOSA Управління громадського транспорту Женеви; – методу індукційної підзарядки, який використовується, наприклад, в розробленому Університетом штату Юта прототипі в транспортних засобах з бездротовою системою індукційної підзарядки; – технології, заснованої на ефекті "резонансу в направленому магнітному полі", подібні тим, які були застосовані в Гумі (Південна Корея) і полягає в тому, що електричні кабелі, прокладені в асфальті, створюють електромагнітне поле для транспортних засобів громадського транспорту (але не легкових автомобілів), яке потім перетворюється в електроенергію індукційною котушкою акумулятора, який може при цьому перебувати на певній висоті більш півфута від дорожнього полотна.

Група 3	
Цільовий показник	Розвиток якісної, надійної, стійкої інфраструктури, включаючи регіональну і транскордонну інфраструктуру, в цілях підтримки економічного розвитку і благополуччя людей, приділяючи особливу увагу забезпеченню недорогого і рівноправного доступу для всіх.
Методи забезпечення усталеного розвитку	<p>1. Більш ефективне використання існуючої інфраструктури або зниження потреби в будівництві дуже масштабною і, як наслідок, нестійкої інфраструктури можливо домогтися за рахунок організації руху автомобільних колон - груп транспортних засобів, які рухаються разом і активно обмінюються інформацією за допомогою технології, що дозволяє транспортним засобам підтримувати зв'язок між собою і з дорожньою інфраструктурою.</p> <p>2. Організація руху автомобільних колон є одним з рішень, які сприяють паливній економічності і ефективності транспортних потоків, а також зручності водіння. Основна ціль організації руху в колоні полягає в тому, щоб уникнути проблем, пов'язаних з перевантаженістю дорожнього руху, завдяки використанню технології автоматизації. У порівнянні з ручним режимом водіння вона дозволяє організувати рух транспортних засобів впритул один до одного. В кожному ряду може рухатися майже вдвічі більше транспортних засобів, ніж при використанні існуючої системи із ручним режимом водіння. Це, очевидно, приводить до скорочення заторів на автомагістралях.</p> <p>3. У транспортних засобів в щільній колоні підтримується низький лобовий аеродинамічний опір, що дозволяє істотно скоротити витрату палива і рівень викидів забруднень повітря. Скорочення лобового опору веде до зниження витрати палива і рівня викидів на 20-25%.</p> <p>4. Ці методи обумовлюють продовження реалізації ряду проектів в області організації руху автомобільних колон, наприклад, європейського проекту SARTRE, каліфорнійської програми по автоматизації дорожнього руху PATH, в якій застосовується рух автомобільних колон. Цьому сприяє спільна ініціатива в області автоматизації водіння GCDC, проект з організації руху автомобільних колон SCANIA, а також японського проекту з організації руху колон вантажних автомобілів "Енерджи ІТС".</p>

Група 4	
Цільовий показник	Забезпечення доступу до безпечних, недорогих, доступних і стійких транспортних систем завдяки підвищенню безпеки дорожнього руху, в тому числі за рахунок розширення мережі громадського транспорту, приділяючи при цьому особливу увагу потребам осіб, які перебувають в уразливому положенні, жінкам, дітям, інвалідам та людям похилого віку.
Методи забезпечення усталеного розвитку	<p>Впровадження ІТС можуть відігравати важливу роль на транспорті, особливо в великих містах, в результаті виконання наступного:</p> <ul style="list-style-type: none"> – управління регульованими перехрестями, дозволяє оптимізувати транспортні потоки і знизити рівень шкідливих викидів в атмосферу; – камери відеофіксації дають можливість виявити факти перевищення швидкості і проїзду на червоне світло світлофора; – "інтелектуальні" світлофори, можуть збільшувати час, що відводиться для переходу дороги пішоходами, в тих випадках, коли це потрібно; – знаки із змінним повідомленням, надають актуальну інформацію про ситуацію на дорозі, наявності вільних місць для паркування або роботі громадського транспорту в режимі реального часу; - послуги з надання потрібної інформації перед початком або під час поїздки на міському транспорті (за допомогою WAP, SMS і т.д.); – послуги з продажу єдиних квитків на поїздки, в яких задіяні різні види транспорту, електронних квитків і т.д.
Група 5	
Цільовий показник	Досягнення раціонального освоєння і ефективного використання природних ресурсів.
Методи забезпечення усталеного розвитку	<p>Система екоадаптивного балансування і управління (ЕсоABC), призначена для розподілу транспортних потоків енергоефективним чином в рамках дорожньої системи на централізованому рівні.</p> <p>Рішення приймаються на основі "енергетичної карти", складеної з урахуванням даних дорожньої мережі та модулів оцінки і прогнозування викидів.</p> <p>Після того як зроблено розрахунок найбільш оптимальної моделі розподілу транспортних потоків, встановлюються відповідні цільові показники для блоку управління, який має низку можливостей для досягнення сукупності цілей.</p>

	<p>Нові моделі управління будуть підвищувати свою ефективність за рахунок залучення водіїв транспортних засобів в процесі оптимізації потоків. Водії будуть інформуватися про те, на яких ділянках і коли з'являється "зелена хвиля" і який швидкісний режим їм слід підтримувати, щоб залишатися в цій "хвилі", а також про найбільш оптимальні "мікромаршрути" для наступних ділянок шляху.</p> <p>Всі ці заходи спрямовані на:</p> <ul style="list-style-type: none"> – розподіл і балансування транспортних потоків в межах дорожньої мережі з метою забезпечення більш оптимального рівня її завантаженості; – скорочення часу простою і кількість зупинок; – забезпечення більш рівномірного транспортного потоку; – інформовання водіїв про оптимальні маршрути для них. <p>Вони дозволять не тільки поліпшити загальну дорожню ситуацію, тобто зменшити кількість заторів і зробити транспортні потоки більш рівномірними, але і істотним чином скоротити витрату палива і рівень викидів відпрацьованих газів.</p>
Група 6	
Цільові показники	<p>1. Забезпечення адаптованості та оперативної готовності до стихійних лих, небезпечних аварій та кліматичних негод для значної частини територій земної кулі.</p> <p>2. Використання заходів реагування на зміну клімату в політиці, стратегії та плануванні на національному рівні.</p>
Методи забезпечення усталеного розвитку	<p>До впровадження ІТС, які довели свою ефективність в скороченні викидів CO₂, відносяться наступні:</p> <ul style="list-style-type: none"> – удосконалена навігаційна система; – удосконалена система управління транспортними потоками; – динамічна система вибору маршруту; – система електронного стягування плати за користування дорогами; – удосконалена логістична система; – динамічна система пошуку паркувального місця з використанням програми SPS, яка має своєю метою підвищення зручності процесу парковки для водіїв. Датчики, встановлені на кожному паркувальному місці, відправляють на радіоприймальні пристрої інформацію про те, які місця були зайняті. Потім ця інформація відображалась для водіїв на екранах СІД, встановлених поряд з парковками, а також прямувала через мобільний додаток SFPark, який можна завантажити з Інтернету. У результаті обсяг викидів відпрацьованих газів зменшився на 30%.

1.3 Методологія штучного інтелекту, як ключова ланка реалізації інтелектуальних транспортних і виробничих систем

Штучний інтелект (ШІ) як область науки існує близько півстоліття. Першою інтелектуальною системою вважається програма "Логік-Теоретик", призначена для доведення теорем та обчислення висловлювань. У створенні програми брали участь такі відомі вчені, як А. Ньюелл, А. Тьюринг, К. Шеннон, Дж. Лоу, Г. Саймон та ін. Розроблено багато комп'ютерних систем (КС), які прийнято називати інтелектуальними. Області їх застосування охоплюють практично всі сфери людської діяльності, пов'язані з обробкою інформації, але в даній монографії зосереджено увагу на транспортних і виробничих системах [5].

На даний час не має остаточного визначення та опису розглянутої наукової області. Серед багатьох точок зору на ШІ домінують три [7]:

- фундаментальна область дослідження, що дає можливість формувати нові рішення завдань. За традиційних умов дані завдання є інтелектуальними, їх неможливо формалізувати і автоматизувати;

- дає можливість та розвиток ідей для розв'язання різнорідних завдань за допомогою ПК, з реалізацією сучасних технологій програмування;

- в результаті досліджень в цій області з'являються прикладні системи (транспортні, виробничі та інші), здатні вирішувати завдання, для яких раніше створювані системи були непридатні. За останнім трактуванням ШІ є експериментальною наукою, в якій роль експерименту полягає в перевірці та уточненні інтелектуальних систем.

Інтелектуальні системи проникають в усі сфери нашого життя, тому важко провести сувору класифікацію напрямків, за якими ведуться активні і багаточисельні дослідження. Розробка інтелектуальних інформаційних систем (ІС) або систем, заснованих на знаннях, – один з головних напрямків ШІ. Важливим завданням реалізації даних систем є дослідження, отримання та використання знань експертів під час розв'язання складних різнорідних прикладних проблем. При побудові систем, заснованих на знаннях (СЗЗ), використовуються знання, накопичені експертами у вигляді конкретних правил вирішення тих чи інших завдань. Даний напрямок ставить за мету відтворення мислення людини (аналіз та синтез) при вирішенні складно структурованих завдань. При створенні нових баз знань, які відображають ядро СЗЗ, виконується розробка моделей для отримання та подальшої структуризації знань. Окремим випадком СЗЗ є експертні системи (ЕС).

В ШІ також розробляються і вирішуються проблеми комп'ютерної лінгвістики і машинного перекладу – комп'ютерні технології. Системи машинного перекладу з однієї природної мови на іншу забезпечують швидкість і систематичність доступу до інформації, оперативність і однаковість перекладу великих потоків, як правило, науково-технічних текстів [6]. Ці системи будуються як інтелектуальні системи, оскільки в їх основі лежать БЗ з певних предметних областей і складні моделі, що забезпечують додаткову трансляцію "вихідна мова оригіналу-мова сенсу-

мова перекладу". Вони базуються на структурно-логічному підході, що включає послідовний аналіз і синтез природно-мовних повідомлень. Крім того, в них здійснюється асоціативний пошук аналогічних фрагментів тексту і їх перекладів в спеціальних базах даних (БД). Відповідний напрям окреслює дослідження та провадження систем, які дають змогу реалізувати комунікацією "ПК-людина" за допомогою систем ПМ-спілкування. Дані системи дають змогу збільшити швидкість комунікації, а також зменшити навантаження на зір, руховий апарат, з можливістю впровадження комунікації на відстані. У таких системах під текстом розуміють фонемний текст.

В даний час, важливе місце займає напрямок ШІ, за допомогою якого вирішується проблема обробки зображень (їх аналіз та синтез). Така проблема пов'язана також з трансформацією графічних файлів, результатом в такій реалізації є отримання нового графічного зображення. При цьому початкові зображення перетворюються в дані текстових описів. Синтез зображень на вході системи обумовлюється алгоритмом побудови зображення. В той час вихідні дані являються графічними об'єктами системи машинної графіки. Ця актуальна область ШІ включає моделі, методи і алгоритми, орієнтовані на автоматичне накопичення і формування знань з використанням процедур аналізу та узагальнення даних [4, 10, 13]. З'явилися також системи отримання даних (Data-mining) і системи пошуку закономірностей в комп'ютерних базах даних (Knowledge Discovery). Доречним є зазначити те, що розпізнавання образів – одне з ранніх напрямків ШІ, в якому розпізнавання об'єктів здійснюється на підставі застосування спеціального математичного апарату, що забезпечує віднесення сукупності об'єктів до відповідного класу, що мають власні ідентифікаційні ознаки [7].

Програмне забезпечення систем ШІ включає інструментальні засоби для їх розробки, а також спеціальні мови програмування. В якості прикладу можна навести програми обробки символічної інформації: LISP, SMALLTALK, РЕФАЛ; мови логічного програмування (PROLOG) та мови представлення знань (OPS 5, KRL, FRL). Для розробки системи з ШІ можливо використати різні програмні продукти, що мають необхідний набір інструментів (KE, G2, GURU, ARTS), також відповідні програмні продукти. Існують одні створення експертних систем (ЕКСПЕРТ, ЕМТЯСІН, BUILD, EXSYS Professional), які дозволяють створювати прикладні ЕС, не вдаючись до програмування [8,11].

Розвиток нових архітектур комп'ютерів, пов'язано зі створенням нефоннейманівської архітектури, орієнтованих на обробку символічної інформації. Відомі також вдалі промислові рішення паралельних і векторних комп'ютерів [1,8], однак в даний час вони мають досить високу вартість, а також недостатню сумісність з існуючими обчислювальними засобами.

Для ефективного функціонування виробничих систем створення інтелектуальних роботів становить кінцеву мету, робототехніки. На сьогодні використовуються програмовані маніпулятори з жорсткою схемою управління. Не дивлячись на значні успіхи в розробках окремих напрямках робототехніки, повномасштабна розробка інтелектуальних та повністю

автономних робототехнічних комплексів. Важливими та стримуючими факторами в реалізації автономних роботів є невирішені проблеми в області візуалізації та аналізу інформації машинного зору, а також її подальша обробка та зберігання.

1.4 Інтелектуальні інформаційні системи на транспортних і виробничих підприємствах та їх класифікація

Інтелектуальні інформаційні системи (ІС) ґрунтуються на принципах формування знань з можливістю розробки алгоритмів для розв'язання прикладних завдань у транспортних та виробничих системах, що виникають при різних запитах користувачів. Основними ознаками ІС є: адаптивність, можливість самонавчання, вирішення завдань з слабоформалізованими завданнями, висока комунікативність. Засоби інтелектуальної інформації можуть використовуватися для реалізації різних функцій, які виконуються ІС.

На рис.1.2 приведена класифікацію ІС, ознаками якої є наступні інтелектуальні функції; комунікативна здатність: вирішення складних слабо формалізованих завдань; здатність до самонавчання; адаптивність. Комунікативна здатність є способом взаємодії кінцевого користувача з системою. Вирішення складних слабо формалізованих завдань вимагають побудови оригінального алгоритму в залежності від конкретної ситуації, невизначеності і динамічності вихідних даних і знань. Здатність ІС до самонавчання означає вміння автоматично отримувати знання з накопиченого досвіду і застосовувати їх для вирішення завдань. Що стосується адаптивності ІС, то це її здатність до розвитку у відповідності з об'єктивними змінами області знань.

Метод ІІІ застосовується для посилення комунікативних здатностей інформаційних систем. Це призвело до появи систем з інтелектуальним інтерфейсом: інтелектуальні бази даних; природно-мовний інтерфейс; гіпертекстові системи; системи контекстної допомоги; системи когнітивної графіки. Інтелектуальні бази даних на відміну від традиційних, дозволяють забезпечувати вибірку необхідної інформації, що не присутня в явному вигляді, а виводиться із сукупності даних, що зберігаються.

Системний інформація формується для доступу до інтелектуальної БД з максимальною доступністю користувачеві, щоб можна було виконувати конкретний пошук текстової інформації, а також різних даних з можливістю голосового формування команд. Найбільш ядро це проявляється в системах машинного перекладу. Для реалізації останнього необхідно вирішити проблеми морфологічного, синтаксичного і семантичного аналізу, а також завдання синтезу висловлювань на природній мові. При цьому морфологічний аналіз дає можливість здійснювати розпізнавання і перевірку правильності написання слів в словнику. Для проведення синтаксичного контролю необхідно виконувати розклад повідомлень, що надходять на окремі компоненти, виконати граматичну відповідність існуючим правилам наявних

знань, а також формування недостаючих частин. Семантичний аналіз забезпечує встановлення змістовної правильності синтаксичних конструкцій. На відміну від аналізу синтез висловлювань полягає в перетворенні цифрового подання інформації в уявлення природною мовою.

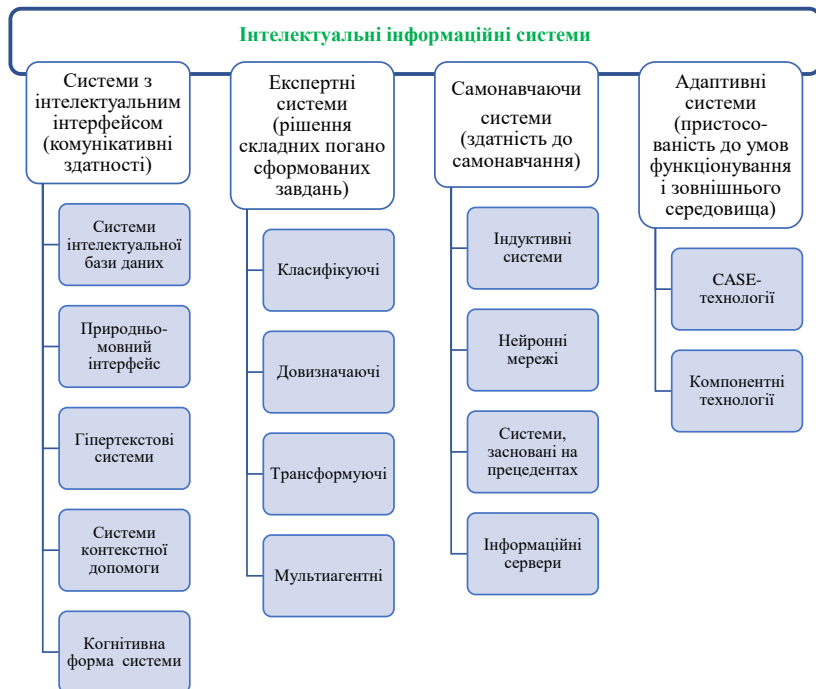


Рисунок 1.2 – Класифікація наявних та можливо створених інтелектуальних інформаційних систем на транспортних і виробничих підприємствах

Гіпертекстові системи необхідні для здійснення пошуку по ключовим словам в БД, а більш повне співвідношення змістовного терму потребує відповідної організації ключових слів. В такому випадку можливо застосувати гіпертекстові системи, що працюють в два етапи: спочатку виконується перебір ключових слів, а потім обробка текстової частини. З мультимедійною інформацією робота проводиться аналогічно.

Клас системи поширення знань включає в себе системи контекстної допомоги. Такі системи є, як правило, додатками до документації. Системи контекстної допомоги – окремий випадок гіпертекстових і ПМ-систем. У них користувач описує проблему, а система на основі додаткового діалогу конкретизує її і виконує пошук, який стосується ситуації рекомендацій. Звичайні гіпертекстові системи, комп'ютерні програми дають користувачеві схеми пошуку необхідної інформації.

Системи когнітивної графіки орієнтовані на спілкування з користувачем міжнародної бізнес компанії ІВС за допомогою графічних образів, які генеруються відповідно до змін параметрів модельованих або процесів, що спостерігаються. Когнітивна графіка дозволяє в наочному і виразному вигляді представити сукупність параметрів, що характеризують досліджуване явище, звільняє користувача від аналізу тривіальних ситуацій, сприяє швидкому освоєнню програмних засобів і підвищенню конкурентоспроможності розроблюваних ІС. Застосування когнітивної графіки особливо актуально в системах моніторингу та оперативного управління на транспортних і виробничих підприємствах, навчальних і тренажерних системах, в оперативних системах прийняття рішень, які працюють в режимі реального часу.

В штучному інтелекті експертні системи сформувалися як самостійний напрям в кінці 1970-х рр. Історія ЕС почалася з повідомлення японського комітету з розробки ПК п'ятого покоління, в якому основна увага приділялася розвитку інтелектуальних здатностей комп'ютерів з тим, щоб вони могли оперувати не тільки даними, але і знаннями, як це здійснюють фахівці (експерти) при виробленні рішень. Група по експертних системах при Комітеті British Computer Society визначила ЕС як "впровадження в ПК компонентів досвіду експерта, заснованої на знаннях, в такій формі, що машина може дати інтелектуальну пораду або прийняти рішення щодо обробленої функції". Однією з важливих властивостей ЕС є здатність пояснити хід своїх міркувань, які зрозумілі для користувача [15, 20].

Область дослідження ЕС являє собою інженерію знань. Е. Фейгенбаум ввів цей термін, а його трактування свідчить про привнесення принципів і інструментарію з області штучного інтелекту в рішення прикладних проблем, що вимагають знань експертів. ЕС застосовуються для вирішення неформалізованих проблем, до яких відносять завдання, що володіють однією (або декількома) з наступних характеристик:

- завдання, в деяких випадках не можливо сформулювати в точних числових значеннях;
- предметна область транспортних та виробничих систем з точки зору початкових даних та баз знань мають постійні: неоднозначності та суперечності при формуванні завдань;
- цілі неможливо висловити за допомогою чітко визначеної цільової функції;
- не існує однозначного алгоритмічного рішення завдання;
- алгоритмічне рішення існує, але його не можна використовувати через велику розмірності простору рішень і обмежень на ресурси (час, пам'ять).

Головною відмінністю ЕС і систем штучного інтелекту від систем обробки даних є використання символічного, а не числового способу їх представлення, а тому застосовується процедура логічного висновку і евристичного пошуку рішень як методи обробки інформації. Зазначимо, що ЕС дуже важлива область дослідження для вдосконалення та формування баз

даних, а також при організації процесів прийняття рішення. Дані системи добре себе зарекомендували в бізнесі, проектуванні технічних та технологічних систем та різних напрямках транспортної галузі [4, 6, 11, 12, 15, 21].

У багатьох випадках ЕС є інструментом, що підсилює інтелектуальні здібності експерта. Крім того, ЕС може виступати в ролі: консультанта для непрофесійних користувачів; асистента - експерта - людини в процесах аналізу варіантів рішень; партнера - експерта в процесі вирішення завдань, що вимагають залучення потоків знань з різних предметних областей.

Класифікацію ЕС проводять за наступними ознаками: спосіб формування рішень; спосіб обліку тимчасових ознак; вид використовуваних даних і знань; число використаних джерел знань.

ЕС можливо розділити: аналізуючі та синтезуючі. В аналізуючих ЕС виконується вибір рішень з раніше відомих знань, а синтезуючі ЕС дають можливість формувати рішення з різнорідних частин знань. Статичні ЕС вирішують завдання з незмінними даними і знаннями в процесі вирішення, а динамічні ЕС – допускають такі зміни.

За видами використовуваних даних і знань розрізняють ЕС з детермінованими і невизначеними знаннями. Невизначені дані мають наступні характеристики: нечіткість, неповність, а також часткова, або повна ненадійність. ЕС можуть створюватися з використанням одного або декількох джерел знань.

У відповідності до перерахованих ознак можна виділити чотири основні класи ЕС (рис. 1.3): класифікуючі, довизначені, трансформуючі і мультиагентні [12, 22].

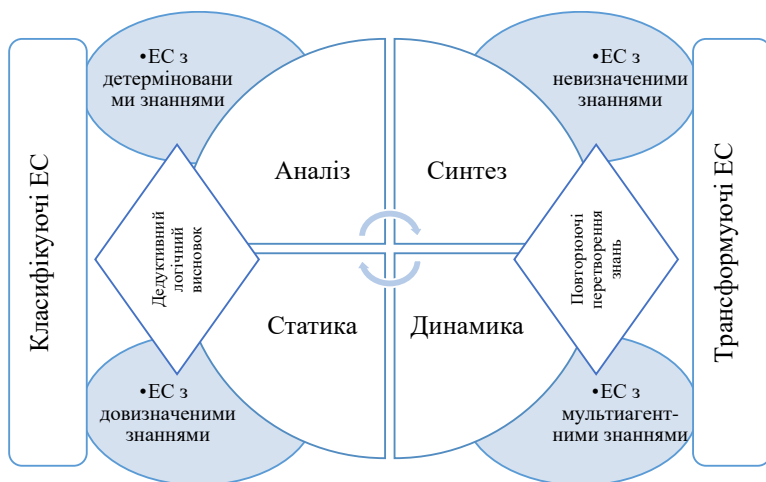


Рисунок 1.3 – Розподіл експертної системи на класи при розв'язанні завдань

Класифікуючі ЕС вирішують завдання розпізнавання ситуацій. Важливим методом вироблення рішень, в даних ЕС є логічний дедуктивний висновок в завершуючому варіанті. Довизначені ЕС використовуються для вирішення завдань з неповністю визначеними даними і знаннями. Дані ЕС мають завдання, що стосуються роз'яснення нечітких знань та вибору напрямку для можливого знаходження раціонального рішення. Баєсівський імовірнісний підхід, коефіцієнти впевненості, нечітка логіка використовуються в якості методів обробки невизначених знань.

Трансформуючі ЕС взаємодіють з синтезуючими властивостями, що передбачають можливе перетворення знань під час прийняття рішення, або розв'язання завдання. ЕС даного класу використовуються різні способи обробки знань:

- генерація і перевірка гіпотез;
- логіка припущень і замовчувань;
- для усунення невизначеності в ситуаціях використовуються метазнання більш загальних закономірностей.

До трансформуючих ЕС відносяться мультиагентні системи. Дані системи – є динамічними та дають можливість інтеграції декількох джерел знань. Інтегровані джерела обмінюються інформацією під час розв'язання поставленого завдання. Системи даного класу мають такі можливості:

- врахування альтернативності варіантів прийняття рішення при застосуванні різнорідних джерел знань, а також можливості визначення протиріч;
- вирішення завдань з можливістю їх розподілення та декомпонуванням, що має на меті розподіл на підзавдання та залучення самостійних джерел знань;
- застосування різних стратегій формування висновків залежно від типу розв'язуваної проблеми;
- обробка великих масивів інформації баз даних;
- використання математичних моделей і зовнішніх процедур імітації розвитку ситуацій.

В інтелектуальних системах чільне місце займають самонавчальні інтелектуальні системи (СНІС), що засновані на методах автоматичної класифікації ситуацій з реальної практики, або на методах навчання на прикладах. Навчальна вибірка, яка формується протягом певного періоду, є прикладом реальних ситуацій. Елементи навчальної вибірки описуються множиною класифікаційних ознак. Мета стратегії "навчання з вчителем" заключається в тому, що фахівець формує ознаки для кожного класу ситуації або об'єкту. При реалізації "навчання без вчителя" систему зобов'язують самостійно розділяти класи ситуації або об'єкти, за близькістю класифікаційних ознак. Під час накопичення знань виконується автоматична побудова бази правил розподілу класів. Сформованими правилами система в подальшому користуватиметься при виявленні незнайомих ситуацій. База правил дає можливість в автоматизованому режимі формувати базу знань, що

постійно підлягає уточненню та користуванню, при накопиченні необхідної інформації. Самонавчальні системи, в свою чергу, мають наступні недоліки:

- при вирішенні реальних проблем база знань має проблеми з неповнотою та значною несумісністю, та неадекватністю результатів;
- низький ступінь пояснювальності отриманих результатів;
- поверхневий опис проблемної області та вузька спрямованість застосування через обмеження в розмірності простору ознак.

Індуктивні системи дозволяють узагальнювати приклади на основі принципу індукції: "від часткового до загального". Процедура узагальнення зводиться до класифікації прикладів по істотним ознакам. Алгоритм класифікації прикладів включає наступні основні кроки:

- вибір класифікаційної ознаки з множини даних;
- розподіл бази прикладів на можливі підмножини у відповідності до необхідної ознаки;
- перевірка приналежності кожної підмножини прикладів одному з класів;
- контроль класифікації, у випадку сходження класифікаційних ознак певної підмножини прикладу. В даному випадку, аналізуючу множину відносять до відповідного підкласу, а процес класифікації завершується;
- підмножина прикладів, в якій наявні незбіжні значення класифікаційних ознак класифікація починається з початку.

Інформаційні архіви відрізняються від інтелектуальних баз даних, тим, що архіви представляють значиму інформацію, яка регулярно витягується з оперативних баз даних. Архів даних – це предметно-орієнтований, інтегрований, прив'язаний до часу, незмінний збір даних, що застосовується для підтримки процесів прийняття управлінських рішень [3]. Предметна орієнтація означає, що дані об'єднані в категорії, зберігаються відповідно до областей, які вони описують, а не з додатками, які їх використовують. В архіві дані інтегруються з метою задоволення вимог транспортних і виробничих підприємств в цілому, а не для окремих функцій бізнесу. Прихильність даних до часу висловлює їх "історичність", тобто атрибут часу завжди явно присутній в структурах архіву даних. Незмінюваність означає, що, потрапивши одного разу в архів, дані вже не змінюються. Цього не спостерігається в оперативних системах, де дані присутні тільки в останній версії, тому постійно змінюються.

Технології вилучення знань з архіву даних засновані на методах статистичного аналізу і моделювання, орієнтованих на пошук моделей і відношень, прихованих в сукупності даних, які дають можливість проводити оптимізацію функціонування підприємства транспортних і виробничих підприємств. Вилучення необхідної інформації з баз даних займаються при використанні OLAP-аналізу та Data Mining, що ґрунтуються на використанні математичного аналізу, побудови дерев рішень, нейронних мереж та ін.

Потреба в адаптивних інформаційних системах виникає в тих випадках, коли підтримувані ними проблемні області постійно розвиваються.

Адаптивні системи задовольняють наступні специфічні вимоги:

- точно відображати необхідні знання досліджуваної області в довільний момент часу;
- мати можливість швидкої перебудови у випадку зміни проблемної області дослідження [24].

Адаптивність системи гарантується розвитком інтелектуалізації елементів її архітектури. Їх ядром є постійно розвиваюча модель проблемної області, підтримувана в спеціальній базі знань – репозитарії.

1.5 Стан справ з впровадження інтелектуальних транспортних і виробничих систем

Протягом останніх років спостерігається прискорення темпів впровадження ІТС і ІВС, тому все частіше в різних провідних країнах світу сприймають їх не як технології майбутнього, а як інструментарій для вирішення щоденних транспортних і виробничих проблем та завдань. В стратегіях різних компаній, що впроваджують ІТС і ІВС, регулярно відображаються тези при перешкоді їх глобального впровадження. Принципову важливість має забезпечення належного рівня управління, недоліки якого обумовлюють цілий перелік перешкод. Конкретні перешкоди усуваються директивними органами, щоб розкрити потенціал ІТС і ІВС в повному обсязі. В рамках цього огляду основна увага приділяється таким аспектам: експлуатаційна сумісність, фрагментованість технічних стандартів, гармонізація заходів політики та стратегічні програми.

Аналіз стану проблем з впровадженням ІТС і ІВС дозволив встановити основні з них, які представлені на рис. 1.4.

Доцільним є виділення ряду проблем: недостатність політичної волі розуміння в суспільстві; недостатність підготовки по питанням ІТС і ІВС; недостатній рівень відповідальності; недостатність інфраструктури; відсутність загально прийнятного визнання ІТС і ІВС; недостатність стандартів з експлуатаційної сумісності; відсутність злагодженої політики; захист приватної інформації; неузгодженість ЗЗП; різні темпи реалізації в державному і приватному секторах.

На сьогодні підчас стандартизації основна увага приділяється об'єднанню та розробці експлуатаційно відповідних ІТС і ІВС з врахуванням глобального поширення ІТС і ІВС велика увага приділяється створюючим однорідним узгодженим стандартам для архітектури, протоколів і форматів передачі даних. Наявність такого набору однорідних узгоджених стандартів забезпечує глобальну гармонізацію заснованих на ІТС і ІВС послуг, виробництв та додатків. У ході роботи над такими стандартами виявлено ключові питання забезпечення їх експлуатаційної сумісності. Системи ІТС і ІВС, які використовуються в різних частинах світу, в основному, є несумісними і фрагментованими. ІТС обумовлені ще такими проблемами: експлуатаційну сумісність між системами повинні забезпечити транспортні

засоби, використовуючи не тільки в одному, але й в інших регіонах, а також у міжнародному масштабі в цілому [25].



Рисунок 1.4 – Основні проблеми при впровадженні інтелектуальних транспортних і виробничих систем

У більшості країн діють свої власні норми в зонах безпеки транспортних засобів та охорони навколишнього середовища, які не узгоджені на міжнародному рівні, не дивлячись на високий ступінь глобалізації у секторі автомобілебудування. Для автомобіля, який пройшов сертифікацію і відповідає всім нормативним вимогам в країні походження, необхідно мати дозвіл на продаж в інших країнах, отримання якого вимагає істотних часових і фінансових витрат. В транспортній галузі будуть широко виконуватися трансформації, що підігриваються бажаннями споживачів до нових технічних рішень та транспортних засобів, що мають більшу економічність, екологічність, а також адаптовані до сучасних ІТС і ІВС. Вони є більш "розумними", а також визначені посиленням екологічних норм.

Виробники зацікавлені, щоб продавати транспортні засоби, спроектовані на базі загальних платформ, на глобальному ринку. При цьому вони розраховують на певну ефективність своїх дій та на можливість уникнути необхідності дотримуватися численних стандартів і норм, що діють в різних країнах. Повинен бути налагоджений реалістичний і інклюзивний механізм розробки міжнародних правових норм для своєчасного врахування нових технологій, поява яких представляється неминучим щодо прагнення цього промислового сектора до технологічної різноманітності.

З огляду на те, що цикл проектування і промислової розробки інноваційних технологій є більш коротшим, ніж цикл розробки відповідної політики та національні директивні, регулюючі органи повинні активізувати свої зусилля для отримання максимально можливої віддачі від впровадження технологій ІТС і ІВС. В промисловому секторі значними темпами виконується модернізація та реалізація інноваційних технологій різних напрямків. При цьому основна діяльність по регулюванню проводиться у сфері національних законодавств (за винятком ЄС), тобто відсутня інституційна координація з іншими країнами. У тому, що стосується регіону, куди входять країни Північної Америки, Європи і Центральної Азії, існує нагальна потреба в узгодженні вимог до ІТС та ІВС між цими країнами. Узгодження стандартами дасть змогу розвитку ринку наповнюватись сучасними ІТС та ІВС, у випадку відсутності цих заходів фактично важко розвивати промисловий сектор якісним шляхом. Тому на даний час гостро мають стоїть завдання зменшення несумісних впроваджень ІТС та ІВС. Процес розробки стандартів загальної архітектури таких систем і відповідних угод між сусідніми країнами пов'язаний з труднощами і вимагає великих витрат часу. До моменту появи таких стандартів необхідно регулярно дотримуватись експлуатаційної сумісності за допомогою практик, на основі якого розробляють узгоджені правила в цій області. Більш складне завдання полягає в тому, щоб проводити таку політику в галузях транспорту і виробництва, яка дозволить відмовитися від традиційних стратегій, заснованих на факторах пропозиції, на користь сучасних, орієнтованих на фактори попиту стратегій щодо забезпечення мобільності, які повинні базуватися на нових інтелектуальних транспортних і комунікаційних технологіях [26].

Всесвітній конгрес з ІТС являє собою щорічні міжнародні конференції, присвячені питанням ІТС. Організація Всесвітнього конгресу з ІТС – плід співпраці між наступними організаціями: ERTICO, ІТС Америки, ІТС Азіатсько-Тихоокеанського регіону та ІТС Австралії. На цьому конгресі збираються міжнародні експерти по ІТС, фахівці в даній області, керівники державного та приватного секторів, представники наукових кіл, дослідники, фахівці та студенти, що представляють всі сегменти ІТС та ІВС. Для представлення і обговорення останніх змін в цій галузі, а також шляхи вирішення поточних проблем в справі їх впровадження. Зазначені проблеми відображають вищезгадані потреби в узгодженні політики, стандартизації використовуваних технологій і забезпеченні експлуатаційної сумісності.

Представники галузі, які щорічно присутні на Всесвітньому конгресі по ІТС, особливо підкреслюють важливість подолання цих перешкод для того, щоб забезпечити економічний і широкий за географічним охопленням режим застосування програмних реалізацій ІТС, що дасть змогу отримати належну продуктивність та рентабельність від їх використання, а також скоригувати політику в цій галузі [27-29].

Завдання розвитку ІТС постійно вимагаються підчас роботи Комітету внутрішнього транспорту (КВТ) Європейської економічної комісії ООН, а також його допоміжних органів з 2003 р. Перший "Круглий стіл" щодо ІТС, який відбувся в 2004 році, був присвячений технологічним питанням. За його підсумками була озвучена необхідність підвищення рівня технічної гармонізації. ІТС були включені в юридичні документи, а також підлягають постійному обговоренню в КВТ, що постійно знімаються вдосконаленням переліку питань по реалізації ІТС. В рамках Всесвітнього форуму для узгодження правил в галузі транспортних засобів функціонує група експертів, яка виносить загальні рекомендації щодо способів включення положень про інтелектуальні транспортні системи в правила в області транспортних засобів. Робоча група по безпеці дорожнього руху обговорює питання відповідальності та займається адміністративним супроводом та оновленням Конвенції про дорожні знаки і сигнали і Конвенції про дорожній рух (Віденські конвенції). Дана група постійно узгоджує знаки та організовувати співпрацю різних робочих груп. WP.1 – неофіційно робоча група, що займалась автоматизованим водінням, що співпрацює з групою WP.29 з ІТС. Група WP.15 займається з транспортуванням небезпечних вантажів, дана група займається питанням телематики для забезпечення надійності та безпеки процесу транспортування. Сформована робоча група SC.3 займається питаннями внутрішньо-водного транспорту з реалізацією річкових інформаційних систем. Робоча група SC.1 – займається питаннями автомобільного транспорту при впровадженні в якості контролю транспортної роботи тахографу e-CMR4.

До питань цієї групи відносяться і загальноєвропейська угода по дорожній інфраструктурі і СМА. Крім того, обговорення по питанням, що стосуються управління ІТС та включення їх додатків в транспортні системи, ведуться також в наступних форматах:

- в рамках робочої групи WP.24 по інтермодальним перевезенням і логістиці;
- в рамках робочої групи WP.30 з митних питань, пов'язаних з транспортом;
- в межах проєктів ТЕА і ТЕГ, щодо вдосконалення інфраструктури.

ІТС в майбутньому завжди будуть ключовою ланкою при розробці концепцій транспортної мобільності. Завдяки використанню додатків ІТС та ІВС транспорт стане більш ефективним, безпечним і екологічним. На даний час технічні рішення швидше реалізуються ніж здійснюються інституційні та юридичні зміни, що дуже важливі при широкому використанні цих рішень. Це станеться лише в тому випадку, якщо відповідні технічні рішення і

послуги будуть успішно інтегровані в належні стратегічні рамки і узгоджені на міжнародному рівні. І хоча на технічному рівні вже були досягнуті значні успіхи, багато в чому завдяки діяльності групи WP.29, країни як і раніше не ведуть між собою діалогу з питань політичних та інституційних змін. Комітет з внутрішнього транспорту, потребує обговорення діалогу з питань політики.

ІТС і ІВС засновані на інтелектуальних технологіях, можуть створювати реальні проблеми для планування транспортування і виробництва. Ніхто не може точно прогнозувати прогресивні технологічні досягнення за визначений термін, але відомо, що технологічні досягнення відбуватимуться. Індивідуальні ІТС та ІВС з кожним роком все більше інтегруються, що ускладнює процес планування за рахунок технологічних невизначеностей, а також інституційних неузгоджень. Розроблені рекомендації (ARC-IT) для вирішення ряду проблем, а також більш чіткого планування, підтримки інтеграції та технологічних досягнень з метою вдосконалити систему наземного транспортування з плином часу.

В свою чергу значна кількість штатів та міст в США сформували регіональні системи транспорту. Зазначимо, що регіональні ІТС та ІВС постійно розвиваються в залежності зі зміною стратегії розвитку регіону.

Використовуючи регіональну архітектуру ІТС, регіон може планувати застосування технологій та інтеграцію для підтримки більш ефективного планування операцій.

Регіональна архітектура забезпечує контекст для проектів ІТС та ІВС, щоб кожен проект міг створити частину передбачуваної транспортної та виробничої системи. Використовуючи архітектуру як інструмент планування, кроки, що виконуються кожним проектом, будуть на шляху до виконання більших цілей, викладених у довгостроковому транспортному плані. Детальна інформація про те, як регіональна архітектура ІТС може бути використана як інструмент для підтримки планування транспорту та виробництва.

1.6 Розробка елементів штучних інтелектуальних систем при реалізації експертних систем

Розглянемо відпрацьовані на сьогоднішній день елементи технології створення ШІС на прикладі розробки експертних систем. Цей вибір обумовлений тим, що ЕС отримали вельми широке поширення в багатьох сферах людської діяльності, а технології їх створення мають універсальний характер і не вимагають апаратних реалізацій [30-32].

ЕС – це складні програмні комплекси, що акумулюють знання фахівців в конкретних предметних областях і тиражують цей емпіричний досвід для консультацій менш кваліфікованих користувачів [4]. В більш ранніх ЕС не було можливості врахувати зміну знань, що накопичувалися при розв'язанні певних завдань. Це статичні ЕС. Типові статичні ЕС містять наступні основні компоненти: базу знань; робочу пам'ять; вирішувач (інтерпретатор); систему пояснень; компоненти придбання знань; інтерфейс з користувачем. База знань ЕС призначена для зберігання довгострокових даних. Ці дані описують

досліджувань область, а також формуються і правила, що описують доцільні перетворення даних цієї області. База даних (робоча пам'ять) служить для зберігання поточних даних розв'язуваного завдання. Інтерпретатор особа або система, що набирає послідовність необхідних правил та виконує їх обробку на основі наявних даних в БЗ. Відображення системи розв'язку конкретного завдання, а також відповідних знань, що для нього використовувались займається система пояснень. Це полегшує тестування системи і підвищує довіру користувача до отриманого результату.

Необхідні елементи накопичення знань потрібні для накопичення ЕС відповідними знаннями за допомогою діалогових форм з експертом-користувачем, а також для корегування вже наявних знань. Розробкою ЕС займаються високо-кваліфіковані спеціалісти різнорідних областей:

- експерти проблемної області, до якої відносяться завдання;
- аналітики, які є фахівцями з розробки ІТС і ІВС;
- програмісти, які здійснюють реалізацію ЕС.

Експерти постійно оновлюють знання в ЕС, а також здійснюють перевірку та оцінку результатів, які отримано. В свою чергу аналітики постійно допомагають експертам отримувати важливі залежності та проводити структурування знань, що важливі для роботи ЕС. Аналітики також проводять аналіз відповідно до поставлених знань, самостійно підбирають підходи для обробки даних, знань, а також формують інструментальний апарат для ЕС. Програмісти потім оновлюють або заново формують програмне середовище ЕС відповідно до рекомендацій експертів та аналітиків.

Створення інтелектуального програмного забезпечення для ІТС і ІВС суттєво відрізняється від розробки традиційних програм з використанням відомих алгоритмічних мов (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Відмінності систем штучного інтелекту від звичайних програмних систем

Характеристика	Програмування в системах штучного інтелекту	Традиційне програмування
Тип обробки	Символьне	Числове
Метод	Евристичний пошук	Точний алгоритм
Задання кроків рішення	Неявне	Явне
Шукане рішення	Раціональне	Оптимальне
Управління і дані	Змішане	Роздільне
Знання	Неточне	Точне
Модифікації	Часті	Рідкісні

Будь-яка ЕС повинна мати, принаймні, два режими роботи. Під час формування знань експерт коректує та додає дані в систему, що в майбутньому дають можливість ЕС автоматично розв'язувати певні завдання з певної прикладної області. Експерт дає інформацію у вигляді опису

проблемних областей певних даних та бази правил. Дані дають характеристику конкретної області або завданню. Правила визначають взаємні зв'язки, що існують між даними, і способи маніпулювання даними, характерні для даного класу завдань.

У режимі консультації користувач ЕС повідомляє системі конкретні дані про розв'язуване завдання і прагне отримати з її допомогою результат. Користувачі-неспеціалісти звертаються до ЕС за результатом, не вміючи отримати його самостійно. Користувачі-фахівці використовують ЕС для прискорення і полегшення процесу отримання результату. Слід підкреслити, що термін "користувач" є багатозначним, оскільки використовувати ЕС можуть і експерт, і аналітик, і програміст. Тому, коли хочуть підкреслити, що мова йде про те, для кого розроблялася ЕС, використовують термін "кінцевий користувач".

В консультаційному режимі необхідні дані про конкретне завдання надаються в оперативну пам'ять. Інтерпретатор або вирішувач ґрунтуючись на вхідних даних з оперативної пам'яті і бази правил ЕС пропонує рішення. Особливість ЕС є те, що вони як комп'ютерні програми при вирішенні прикладного завдання виконує необрану послідовність операцій, а також їх сама формує.

На даний час є значна кількість класів програмних додатків, рішення яких необхідно виконувати зміни, що здійснюються в зовнішньому середовищі підчас реалізації програмного продукту. Для вирішення таких завдань необхідно застосовувати динамічні ЕС, які поряд з компонентами статичних систем містять підсистему моделювання зовнішнього середовища і підсистему зв'язку з ним. Підсистема зовнішнього середовища необхідна для прогнозування, аналізу та адекватної оцінки його стану. Зміни в умовах поставленого завдання потребують динамічних змін знань в ЕС, щоб описати необхідну логіку реального світу та завдання. Виявлено, що компонента зв'язку із зовнішнім середовищем актуальна для автономних ІС (роботів), а також для інтелектуальних систем управління. Зв'язок із зовнішнім середовищем здійснюється через систему датчиків і контролерів (ІТС і ІВС) [33].

ЕС класифікують за: програмного продукту; стан розробки або існування; складність або масштабність; область проблемного напрямку; можливості при вирішуваних завдань.

Тип додатку характеризується такими ознаками:

- можливість взаємодії додатка з іншими програмними засобами;
- можливість виконувати додаток і переносити його на різні платформи;
- архітектура додатку.

Стадія існування характеризує ступінь завершеності розробки ЕС. Прийнято виділяти наступні стадії:

- дослідницький прототип – вирішує представницький клас завдань проблемної області, але може бути нестійкий в роботі і не повністю перевіреним;

- діючий прототип дає можливість ефективно розв'язувати поставлені завдання, але при складних задачах споживає багато пам'яті та часу;

- виробнича система – забезпечує високу якість вирішення всіх завдань при мінімумі часу і пам'яті;

- комерційна система – придатна не тільки для використання розробником, а й для продажу різним споживачам [34].

Масштаб ЕС характеризує складність вирішуваних завдань і пов'язаний з типом використовуваного ПК. За цією ознакою розрізняють:

- малі ЕС – призначені для первинного навчання і проходження можливості застосування технології ЕС для розглянутого класу завдань;

- середні ЕС зазвичай інтегровані з певними БД, до їх складу входять незначний перелік додатків;

- великі ЕС в основному інтегровані з високо потужними електронними таблицями, БД та реалізуються на потужних серверах та спецкомп'ютерах;

- символічні ЕС зазвичай реалізуються для певних досліджень, мають орієнтацію на аналіз символічної інформації, функціонують на спецкомп'ютерах.

Область проблемного напрямку характеризує досліджувану область ЕС, має опис об'єктів з їх властивостями та розв'язуваних завдань. Дана інформація має чітку структуру даних, а розв'язок завдання представляється у вигляді: формул; правил; набору ітерацій і т.п.

У зв'язку з цим проблемне середовище визначається характеристиками відповідної предметної області і типів вирішуваних в ній завдань.

Ступінь новизни може бути різною і визначається видом знань, закладених в ЕС, і методами їх обробки. Для організації ефективного проектування та реінжинірингу потрібно формувати не лише самі проектні рішення, але і мотиви їх прийняття. ЕС, які вирішують завдання проектування, реалізують процедури виведення рішення і пояснення отриманих результатів;

Прогнозування являється передбаченням наслідків визначених подій або явищ на основі аналізу наявних даних. ЕС, які можуть прогнозувати різноманітні ситуації дають можливість логічно вивести імовірні наслідки з певною надійністю. При прогнозуванні ЕС в більшості випадків використовують динамічні моделі, в яких значення параметрів "підганяються" під задану ситуацію. Виведені з цих моделей наслідки складають основу для прогнозів з ймовірними оцінками.

Планування є побудова планів дій об'єктів, здатних виконувати деякі функції. Робота ЕС з планування заснована на моделях поведінки реальних об'єктів, які дозволяють проводити логічний висновок наслідків запланованої діяльності.

Експертні системи при навчанні виконують такі функції: діагностика помилок та підказування правильних рішень; акумулювання знань про гіпотетичного "учня" і його характерних помилках; діагностування слабкості в пізнаннях "учнів" і знаходження відповідних коштів для їх ліквідації.

Системи навчання здатні планувати акт спілкування з "учнем" залежно від його успіхів передачі необхідних знань.

Управління є функцією організованої системи, що підтримує певний режим її діяльності. ЕС даного типу призначені для управління поведінкою складних систем.

Підтримка прийняття рішень являється сукупністю процедур, що забезпечує особа, яка приймає рішення, необхідною інформацією та рекомендаціями, що полегшують процес прийняття рішення. Такого роду ЕС надають допомогу фахівцям у виборі і/або генерації найбільш раціональної альтернативи з множини можливих при прийнятті відповідальних рішень.

Завдання, що стосуються аналізу даних можливо віднести: діагностики та прийняття рішень. Завдання синтезу дають можливість: управління, проектування та стратегічного планування. Комбіновані завдання охоплюють моніторинг, навчання та прогноз.

Ефективність роботи ІС залежать в значній мірі від використаних фізичних та програмних засобів. Інструментальні засоби розробки інтелектуальних додатків мають наступні основні параметри:

- рівень використовуваної мови програмування;
- парадигми програмування і механізми реалізації;
- спосіб подання знань;
- механізми виведення і моделювання;
- затрати на придбання знань;
- технології розробки додатків.

Різноманітність способів подання знань обумовлено тим, щоб з найбільшою ефективністю представити різні типи проблемних середовищ з найбільшою ефективністю. Зазвичай спосіб представлення знань в ЕС характеризують моделлю представлення знань. В якості типових моделей подання знань передусім є правила (продукції); фрейми (або об'єкти); семантичні мережі, логічні формули. Інструментальні засоби, що мають у своєму складі більше однієї моделі подання знань є гібридними. Більшість з тимчасових засобів, як правило, використовує об'єктно-орієнтовану парадигму, об'єднану з парадигмою, орієнтованою на правила.

Розглянемо механізми формування висновку і моделювання ЕС. У статичних ЕС єдиним активним агентом, що змінює інформацію, є механізм її формування. У динамічних ЕС зміна даних відбувається не тільки внаслідок функціонування механізму виконуваних тверджень, але також у зв'язку зі змінами оточення завдання, які моделюються спеціальною підсистемою або надходять ззовні. Механізми формування висновку в різних середовищах можуть відрізнятися способами реалізації різноманітних процедур:

Структура процесу формування рішення містить в собі наступне:

- побудова дерева доведення на основі навчальної вибірки (індуктивні методи придбання знань) і вибір маршруту на цьому дереві в режимі рішення завдання;
- компіляція мережі доведення зі специфічних правил в режимі придбання знань і пошук рішення на цій мережі в режимі вирішення завдань;

– генерація мережі доведення і пошук рішення в режимі розв'язання завдання, при цьому генерація мережі здійснюється в ході виконання операції зіставлення, що визначає пари "правило-сукупність даних", на яких умови цього правила задовольняються;

– в режимі вирішення завдань ЕС здійснює вироблення припущень; виконання міркувань щодо обґрунтування припущень; генерацію альтернативних мереж доведення; пошук рішення в цих мережах.

Пошук або вибір рішення реалізується наступним чином:

– пошук виконується від даних до мети, а також від цілі до даних, що характеризує його двонаправленість;

– порядок перебору вершин в мережі доведення – "пошук в ширину", при якому спочатку обробляються всі вершини, безпосередньо пов'язані з поточною оброблюваною вершиною G ;

– "пошук в глибину", коли спочатку розкривається одна найбільш значуща вершина – G_1 пов'язана з поточною G , потім вершина G робиться поточною, і для неї розкривається одна найбільш значуща вершина G_2 і т.д.

Що стосується технології створення інтелектуальних ЕС, то можна виділити ряд наступних етапів:

- дослідження здійсненності проекту;
- розробка загальної концепції системи;
- розробка і тестування серії прототипів;
- розробка і випробування головного зразка;
- розробка і перевірка розширених версій системи;
- прив'язка системи до реального робочого середовища.

Проектування ЕС засноване на трьох головних принципах:

1. Ефективність експертної системи обумовлена перш за все потужністю БЗ і можливістю її поповнення, а також використовуваними методами (процедурами) обробки інформації.

2. Знання, що дозволяють експерту (або експертній системі) отримати якісні та ефективні рішення завдань, є в основному евристичними, емпіричними, невизначеними, правдоподібними.

3. Активність діалогу користувача з ЕС під час її роботи дає можливість користуватися неформальними знаннями і завданнями.

Перед тим як приступити до розробки ЕС, аналітик повинен розглянути питання, чи слід розробляти ЕС для цього додатка. Розробка ЕС починається, коли вона реально можлива, доцільна, а також методи програмної інженерії знань відповідають поставленому завданню [38].

Доцільність ЕС можлива при виконанні наступних вимог:

– наявність експертів в цій галузі, які вирішують завдання значно краще, ніж фахівці початківці;

– експерти оцінюють запропоновані варіанти рішень, щоб оцінити якість ЕС;

– експерти здатні вербалізувати (висловити природною мовою) і пояснити використані методи, інакше важко розраховувати на те, що знання експертів будуть "витягнуті" і вкладені в ЕС;

- вирішення завдання вимагає в основному обґрунтованих міркувань, а не конкретних дій;
- завдання не повинно бути занадто важким, тобто його рішення повинне займати у експерта декілька годин або днів, а не тижнів або років;
- завдання можуть бути неформальні, але обов'язково повинні відноситися до певної та структурованої області;
- рішення завдання не повинно в значній мірі спиратися на "здоровий глузд", оскільки подібні знання поки не вдається в достатній кількості закласти в системи штучного інтелекту.

При розробці ЕС, використовують концепція швидкого прототипу, сутність якої полягає в тому, що розробники не намагаються побудувати відразу кінцевий продукт. Початковий етап дає можливість створити прототип, що характеризує наступним вимогам: можливість вирішити типові завдання і мінімальний час та ресурси на його розробку. При виконанні цих умов стає можливим паралельно вести процес накопичення і налагодження знань, здійснюваний експертом, і процес вибору (розробки) програмних засобів, що виконується аналітиком і програмістом. Для задоволення вказаним вимогам при створенні прототипу використовуються різноманітні інструментальні засоби, що прискорюють процес проектування ЕС.

Традиційна технологія реалізації ЕС включає шість основних етапів, що представлені на рис. 1.5.

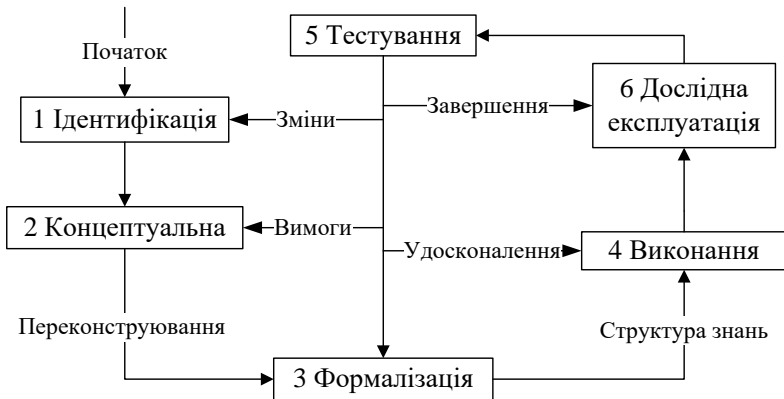


Рисунок 1.5 – Етапи розробки експертних систем

З'ясуємо сутність різних станів проектування експертних систем. Етап ідентифікації формує завдання, цілі, підбір експертів, опис користувачів. Концептуалізація дає можливість проаналізувати предметну область, формуються поняття, взаємозв'язки між ними, рекомендуються методи для розв'язування переліку завдань. Етап формалізації дає можливість вибрати інструментальні засоби та основні способи представлення знань, понять, проводиться моделювання робочої системи, оцінюється адекватність системи

при вирішенні поставлених завдань, представлення та маніпулювання знаннями розглянутої предметної області.

На етапі виконання здійснюється заповнення бази знань. Основою ЕС є знання та їх накопичення, тому етап вимагає виконання найбільш трудомістким. Процес формування знань під час діалогу з експертами; організація знань, дає можливість структурувати знання та більш зручно їх представити для роботи в автоматичному режимі. Накопиченням знань займається аналітик, який проводить аналіз діяльності експерта під час вирішення конкретних завдань [39].

На етапі тестування експерт і аналітик в інтерактивному режимі з використанням діалогових і пояснювальних засобів перевіряють компетентність ЕС. Процес тестування триває до тих пір, поки експерт не вирішить, що система досягла необхідного рівня компетентності.

Етап дослідної експлуатації дає можливість оцінити придатність ЕС для роботи з користувачами. Отримані результати можуть показати необхідність суттєвої модифікації ЕС.

При створенні ЕС не має конкретної послідовності зазначених раніше етапів. Під час розробки необхідно переходити на попередні етапи та оцінювати рішення, що на них приймалися.

Структурований підхід під час реалізації ЕС дає можливість структурувати знання в проблемній області. Даний підхід обумовлений, тим що для деяких додатків використання низько формалізованих знань не дає можливість вирішувати ряд завдань. Такий підхід до побудови ЕС схожий на структурне програмування. Однак стосовно ЕС мова йде не про те, щоб структурування завдання було доведено до точного алгоритму (як в традиційному програмуванні), а передбачається, що частина завдання вирішується за допомогою евристичного пошуку. Структурований підхід в різних додатках доцільно поєднувати з поверхневим або глибинним [40].

При глибинному підході реалізація ЕС базується на моделі прикладного проблемного середовища де вона функціонує. Модель може бути визначена різними способами (декларативно, процедурно). Необхідність використання моделей в ряді програм викликана прагненням виправити недолік поверхневого підходу, пов'язаний з виникненням ситуацій, які не описані правилами, що зберігаються в БЗ. ЕС, розроблені із застосуванням глибинних знань. При виникненні невідомої ситуації вони здатні самостійно визначити, які дії слід виконати, а також за допомогою деяких загальних принципів, справедливих для даної галузі експертизи.

Глибинний підхід вимагає явного опису структури і взаємозв'язку між різними сутностями проблемної області. У цьому підході необхідно використовувати інструментальні засоби, що володіють можливостями моделювання: об'єкти з приєднаними процедурами, ієрархічне на проходження властивостей, активні знання (програмування, кероване даними), механізм передачі повідомлень об'єктам (об'єктно-орієнтоване програмування) і ТП. Більш раціональний ефективний підхід для конкретних

ЕС може об'єднувати в собі комплекс поверхневою, структурного та глибинного підходу.

Висновки по розділу 1

1. З'ясовано сутність інтелектуальних транспортних та виробничих систем та зазначені їх характерні риси та специфіка. Показано, що вони об'єднують телекомунікації, електронне і мехатронне обладнання та інформаційні технології з включенням інжинірингу, що дозволяє планувати, розробляти, експлуатувати, обслуговувати та управляти ними.

2. Виявлена роль інтелектуальних систем в досягненні показників цілей їх стійкого розвитку. Визначено основні цільові показники розвитку інтелектуальних транспортних систем та запропоновано методи забезпечення їх усталеного розвитку.

3. Показано, що основою створення, функціонування і удосконалення інтелектуальних транспортних і виробничих, а також інших систем є штучний інтелект. Розглянуто напрямки розвитку штучного інтелекту, основними з них є розробка інтелектуальних інформаційних систем або систем заснованих на знаннях, з використанням знань накопичених експертами у вигляді конкретних правил вирішення тих чи інших завдань.

4. Зазначено, що в штучному інтелекті розробляються і вирішуються наступні проблеми: комп'ютерна лінгвістика і машинний переклад; природне мовне спілкування; обробка, аналіз і синтез інформації (бази даних та знань); отримання даних і система пошуку закономірностей в комп'ютерних базах даних; розпізнавання образів; інтегроване програмне середовище; розвиток нових архітектур комп'ютерів; створення інтелектуальних роботів.

5. Показано, що інтелектуальна інформаційна система базується на концепції використаних бази знань для генерації алгоритмів вирішення прикладних проблем і завдань, конкретних транспортних і виробничих систем для конкретних інформаційних потреб користувачів.

6. Наведена класифікація інтелектуальних інформаційних систем. Показано, що застосування штучного інтелекту призводить до появи систем з інтелектуальним інтерфейсом. Дано характеристику таким елементам, як інтелектуальна база даних, природно-мовний інтерфейс, гіпертекстові системи, системи контекстної допомоги, системи когнітивної графіки.

7. З'ясовано, що самостійним напрямком в штучному інтелекті є експертні системи, областю дослідження яких є інспекція знань. Переважно експертні системи застосовуються для вирішення великих неформалізованих прикладних проблем найрізноманітніших предметних областей. Головною їх відмінністю від систем обробки даних є те, що в них використовується символічний спосіб представлення даних. Дано класифікацію експертних систем за різними ознаками. Зазначено, що класифікуючі експертні системи вирішують завдання розпізнавання ситуацій, а в трансформуючих – передбачається повторюючі перетворення знань в процесі вирішення завдань.

8. Належну увагу приділено самонавчальним інтелектуальним системам, які засновані на методах автоматичної класифікації ситуацій з реальної практики, або на методах навчання на прикладах. Дана характеристика цим системам, визначено ряд переваг і типових недоліків.

9. Показано, що виникають потреби в адаптивних інформаційних системах, особливо коли проблемні області транспортних і виробничих систем динамічні й постійно розвиваються. Виявлено ряд специфічних вимог до адаптивних систем. Показано, що адаптивні властивості систем забезпечуються за рахунок інтелектуалізації їх архітектури. Реалізація цього підходу заснована на використанні систем автоматизованого проектування або CASE-технологій з генерацією програмного забезпечення.

10. Розглянуто стан впровадження інтелектуальних транспортних і виробничих систем. Визначено ряд проблем, які стоять на шляху впровадженню інтелектуальних систем. Методи подолання цих проблем продемонстровано на прикладі країн Північної Америки, Європейського Союзу та Центральної Азії.

11. Визначено, що програмне забезпечення для проектування і функціонування інтелектуальних транспортних і виробничих систем відрізняється в розробці традиційних програм з використанням алгоритмічних мов. Показано, що до розробки експертних систем залучаються фахівці з різних предметних областей: експерти проблемної області аналітики, які є фахівцями з розробки інтелектуальної транспортної і виробничої систем; програмісти, що здійснюють реалізацію експертних систем.

12. Проаналізовані елементи технологій створення штучних інтелектуальних систем на прикладі розробки експертних систем. Дано класифікацію експертних систем за сукупністю ознак. Розглянуто механізм формування висновку в експертних систем. Розглянуто етапи і принципи створення експертних систем, а також з'ясовано структурований підхід.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ (БАЗИ ЗНАНЬ) В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

2.1. Стратегії формування інформації (бази знань) в інтелектуальних системах

Отримання інформації та її систематизація є основними завданнями в інтелектуальних системах. Процес отримання інформації від експертів – це ключовий процес при розробці ІС, які постійно потребують нових знань. На стадії розробки ІС необхідно розглядати і проблему їх перманентного навчання. З розвитком засобів інформатизації з'являються нові завдання, пов'язані з управлінням інформацією (знаннями) в системах різної природи, в т.ч. транспортних і виробничих.

Вилучення інформації – складна і трудомістка процедура, в результаті якої досліднику (аналітику), необхідно створити власну модель предметної області на основі інформації, отриманої від експертів. Спроби отримати інформацію, необхідну для розробки і функціонування ІС, безпосередньо від експертів і обійтися без когнетології зазвичай не приводять до успіху. В такому випадку пред'являються дуже високі вимоги до експерта, який, будучи фахівцем з визначеної предметної області, буде змушений придбати кваліфікацію аналітика (інженера з предметної області знань). Крім того, існують ще причини, що викликають необхідність участі аналітиків в процесах отримання знань:

- кращим способом для вербалізації знань експерта є діалог;
- досвідчений аналітик, озброєний сучасною методологією системного аналізу, може допомогти експерту в структуризації знань предметної області;
- аналітик допомагає експерту усвідомити "приховані" знання, пропонуючи йому встановити причинно-наслідкові зв'язки на множині виділених понять і правил.

Успіх на етапі формування знань багато в чому залежить від кваліфікації аналітика, який повинен мати освіту, що включає знання з різних областей, в тому числі з когнитивної психології, системного аналізу, математичної логіки, штучного інтелекту і т.д. Що стосується когнетолога, то він сам створює мову для опису отриманих від експерта знань шляхом поповнення спеціальними термінами і знаками конкретної науки. Стандарту таких мов поки не існує, а тому необхідно, щоб такі мови були зрозумілими і мали якомога менше неточностей. Їх розробка аналітиками відбувається в різних напрямках: мови-класифікації, логіко-конструктивні мови, структурно-логічні та ін. Перспективний підхід до цього дає семіотика – наука про знакові системи. Класична семіотика є чисто гуманітарною наукою, основні інтереси якої зосереджені в області культури людської поведінки, мистецтва і мови. В той час прикладна семіотика пов'язана із застосуванням знакових систем для подання і обробки знань в практичних застосуваннях [36].

Аналіз процесів формування інформації свідчить, що вони розглядаються в трьох основних аспектах: психологічному, лінгвістичному і гносеологічному (рис. 2.1).

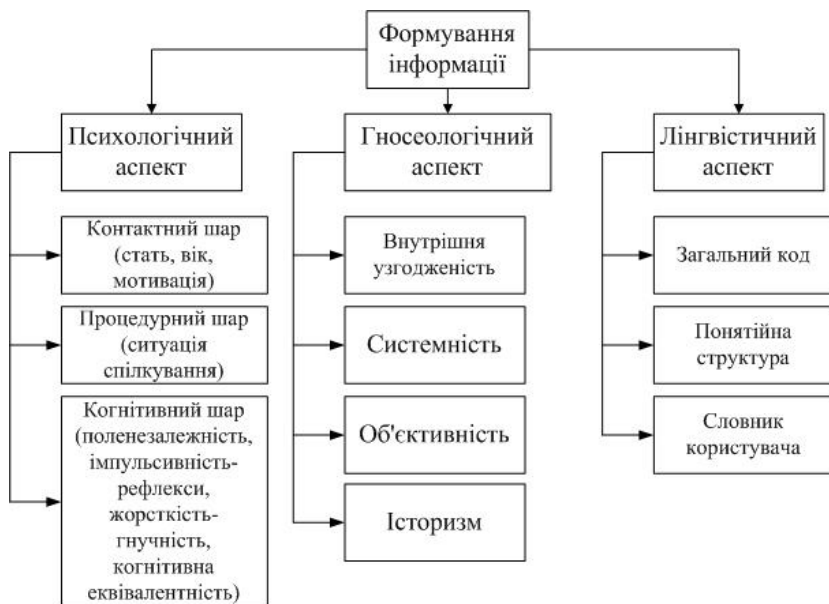


Рисунок 2.1 – Аспекти формування інформації для інтелектуальних систем

В психологічному аспекті формування інформації відбувається в процесі спілкування когнетологів з експертами з домінуючою роллю. Процес вилучення інформації для ІС є не односпрямованим процесом передачі повідомлень від експерта аналітика, а спільним пошуковим процесом істини [11,17].

Відомо [28], що при розмовному спілкуванні втрачається багато інформації, а тому важливим є збільшення інформативного спілкування аналітика та експерта за рахунок використання психологічних методик. Модель спілкування включає такі компоненти: учасники, засоби і предмет. Відповідно до них розглядаються три шари психологічних проблем: ступінь інформативності, контактний, процедурний, когнітивний. На рівні контактного шару спілкування аналітика і експерта залежить, в основному, від статі, віку, темпераменту особистості і мотивації. Хороші результати дають гетерогенні пари і співвідношення вікових груп за наступної умови:

$$5 < (B_e - B_a) < 20, \quad (2.1)$$

де B_e – вік експерта; B_a – вік аналітика.

При цьому бажано, щоб учасники процесу спілкування володіли якостями: доброзичливість, добра пам'ять, увага, спостережливість, уява, вразливість, зібраність, наполегливість, товариськість і винахідливість [11,77].

Процедурний шар забезпечує ефективність отримання знань. До його параметрів відносяться: ситуація спілкування (місце, час, тривалість); обладнання (допоміжні засоби, освітленість, меблі); професійні прийоми (темп, стиль, методи і ін.). Щоб підвищити ефективність цього процесу аналітик повинен підібрати значущі для експерта стимули.

Когнітивний шар характеризується когнітивним стилем і семантичною репрезентативністю. Під когнітивним стилем слід розуміти специфічну сукупність критеріїв, які використовуються при вирішенні різних завдань. В когнітивний стиль включається система засобів і індивідуальних прийомів, для організації діяльності людини, щоб забезпечити досягнення бажаних результатів. Для підвищення ефективності отримання знань доцільно підбирати експертів і аналітиків, що володіють характеристиками когнітивного стилю: полenezалежність (незалежність від шумового поля); імпульсивність – рефлексивність; жорсткість – гнучкість, когнітивна еквівалентність.

Крім цього бажано, щоб і аналітики, і експерти мали наступні когнітивні характеристики:

- висока полenezалежність – здатність виділяти головні аспекти даної і відкидати все зайве, що не відноситься до даної проблеми.

- рефлексивність – схильність до розважливості і самоаналізу, в той час як імпульсивність – швидке, часто недостатньо обґрунтоване прийняття рішень;

- когнітивна еквівалентність – здатність людини до різноманітних понять і розбиття їх на класи і підкласи;

- експерти – стійкість уявлень і жорсткість структури сприйняття, а аналітики – гнучкість, вміння легко пристосовуватися до нових обставин.

Для раціонального формування ІС аналітик має володіти різними методами та математичними інструментаріями. Дані знання дають йому можливість отримувати та відтворювати експертні знання при реалізації різнорідних моделей (продукційної чи фреймової). Не нав'язуючи експерту будь-якої моделі, аналітик повинен підібрати засоби представлення інформації, що має максимально високу семантичну репрезентативність.

Актуальність дослідження лінгвістичного аспекту визначається тим, що мова є основним засобом спілкування в процесі отримання інформації. В області лінгвістичних проблем найбільш важливими є поняття: загальний код, понятійна структура, словник користувача. Загальним інформаційним кодом є спеціальна проміжна мова спілкування між експертом і аналітиком, яка включає сукупність загальнонаукових та спеціальних понять з професійної літератури, елементів базової мови, неологізмів тощо (рис. 2.2).

Загальний код інформації дозволяє подолати мовний бар'єр в процесі спілкування когнетолога з експертами. Вироблення загального коду для партнерів здійснюється відповідно до інформаційних потоків. Надалі

загальний код інформації перетворюється в семантичну мережу, яка зв'язує поняття, що зберігаються в пам'яті людини. Виявлення відносин між елементами інформації, представлених людьми, є однією з найскладніших проблем в процесах формування інформації. Однак до теперішнього часу при розробці БЗ враховується дуже обмежений набір зв'язків між поняттями, в той час як в дійсності існує велика різноманітність таких відносин [35, 78].



Рисунок 2.2 – Структура формування загального коду інформації при спілкуванні між експертом і аналітиком

Проте побудова тієї чи іншої ієрархії понять і відносин входить завдання концептуального аналізу структури інформації будь-якої предметної області ІС.

Гносеологічний аспект об'єднує методологічні проблеми формування нової наукової інформації, оскільки процес пізнання часто супроводжується появою нових понять і теорій. В процесі розробки БЗ експерти досить часто формулюють деякі закономірності на основі емпіричного досвіду. Послідовність "факт→узагальнення" "факт→емпіричний закон→теоретичний закон" є гносеологічним ланцюжком. При цьому теорія – це не тільки система узагальненої накопиченої інформації, але і спосіб отримання та формування нового знання.

Основними критеріями якості нових знань в ІС є внутрішня їх узгодженість, системність, об'єктивність, історизм (рис.2.1). В процесі формування інформації аналітиків насамперед цікавлять емпіричні знання експертів, що представляють собою результати спостережень, які можуть виявитися неузгодженими. Внутрішня узгодженість емпіричної інформації характеризується поняттями модальності, суперечливості, неповноти. Модальність інформації – можливість її існування в різних категоріях. Суперечливість є природною властивістю емпіричних знань. Її не завжди

можливо і повинно усунути. Вона може служити відправною точкою в міркуваннях експертів. Неповнота знань пов'язана з неможливістю вичерпного опису будь-якої предметної області ІС.

Системність знань заснована на визначенні місця нових знань в багаторівневій ієрархічній організації інформації. При цьому необхідно знайти відповіді на питання: які поняття деталізують або узагальнюють нові знання і в яких стосунках вони знаходяться з відомими фактами і закономірностями?

Об'єктивність знань практично визначити неможливо. Оскільки процеси накопичення, опису, подання, обробки, інтерпретації та оцінювання якості знань виконуються конкретними людьми, а тому їх результати мають суб'єктивний характер. Об'єктивність деяких закономірностей часто пов'язують з широтою області їх застосування, межі якої можна встановити експериментальним або теоретичним шляхом. В якості непрямих свідчень об'єктивності іноді допускають збіг уявлень різних експертів і підтвердження висунутих гіпотез відомими фактами.

Процес пізнання в ІС можна представити наступними етапами:

- опис і узагальнення фактів;
- виявлення зв'язків між фактами, формулювання правил і закономірностей;
- побудова моделі інформаційної предметної області;
- пояснення і прогнозування явищ на основі моделі.

На початкових етапах аналітик, досліджуючи структуру висновків експерта, може використовувати різні теорії і підходи для побудови формальної моделі знань предметної області ІС. Найбільш відомими і часто вживаними прийомами є математична логіка, теорія асоціацій і гештальт-психологія.

Математична логіка формує критерії, які гарантують точність, значимість і несуперечливість загальних понять, міркувань і висновків. Застосовуючи логічний підхід, когнітологія виконує наступні операції: визначення понять, виявлення подібності та відмінності, аналіз, абстрагування, узагальнення, класифікація, утворення міркувань, складання силігізмів і т.д. Проблема застосування логічного підходу до представлення інформації полягає в тому, що людина не завжди мислить категоріями суворої класичної логіки, а природна система знань не є повною, допускаючи протиріччя і багатозначні оцінки істинності.

В теоретичному підході асоціація мислення представляється у вигляді ланцюга ідей, пов'язаних загальними поняттями. При цьому використані наступні прийоми:

- асоціації, придбані на основі зв'язків різної природи;
- залучення минулого досвіду;
- метод проб і помилок з випадковим успіхом;
- звичні ("автоматичні") реакції тощо.

Гештальт-психологія [8, 77] орієнтує аналітика на виділення цілісного образу або структури знань (гештальт) як основи для розуміння процесів і

явищ навколишнього світу. Поняття гешталту узгоджується з поняттям фрейма. Застосування даної теорії орієнтує експерта на формування інформаційної моделі відповідно до критеріїв простоти, зв'язності і гармонії.

Ідеалізована модель інформації предметної області ІС будується на основі встановлених логічних зв'язків між поняттями. Модель формалізується за допомогою апарату, категорій формально-знакових засобів математики і логіки. Для адекватного відображення реальної картини, аналітику необхідно володіти такими прийомами, як ідеалізація, абстрагування, узагальнення та обмеження. Критерієм якості побудованої моделі ІС є здатність робити прогнози і пояснювати сукупність явищ на заданій предметній області. Аналітик повинен прагнути, щоб результуюча модель була достатньо повною, зв'язковою і не суперечливою.

Для структурування інформації на сьогодні використовуються структурний і об'єктний підходи. Структурний підхід заснований на ідеї алгоритмічної декомпозиції, в якій кожен модуль системи виконує один з важливих етапів загального процесу. В рамках такого підходу розроблено велику кількість відображаючих засобів: діаграми потоків даних, структуровані словники (тезауруси), мови специфікацій систем, таблиці рішень, стрілочні діаграми, діаграми переходів, дерева цілей, засоби управління проектом та ін. [56, 62, 75, 80].

Об'єктний (об'єктно-орієнтований) підхід пов'язаний з об'єктною декомпозицією, при якій кожен об'єкт розглядається як екземпляр певного класу. До базових понять цього підходу відносяться [6, 64, 73]: абстрагування, клас, ієрархія, спадкування, типізація, модульність, інкапсуляція, поліморфізм. Це дозволяє структурувати інформацію на основі узагальнення існуючих підходів [11, 79]. Основна ідея об'єктно-структурного підходу пов'язана з проведенням послідовного узагальненого об'єктно-структурного аналізу інформації предметної області ІС, з використанням стратифікованої моделі, представлено в табл. 2.1.

В процесі реалізації узагальненого об'єктно-структурного аналізу відбуваються виділення і структуризація понять із застосуванням різноманітних методів аналізу знань. При цьому вирішують такі завдання: складання використовуваних термінів; виявлення понять та їх властивостей; виявлення зв'язків і визначення відношень між поняттями; деталізація та узагальнення понять; побудова узагальненої структури знань предметної області ІС.

При структуруванні інформації визначають вхідні і вихідні дані, які в подальшому будуть деталізуватися і уточнюватися. На підставі цих даних, а також за результатами аналізу протоколів сеансів вилучення інформації складають набір ключових термінів в процесі обробки якого виявляються об'єкти, поняття і їх атрибути. Для виявлення понять використовуються традиційні методи розпізнавання образів і класифікацій, а також нетрадиційні методи, що базуються на аналітичній методології. Найбільш поширеними методиками виявлення об'єктів і понять є: методика формування переліку понять; інтерв'ювання фахівців; складання списку елементарних дій;

складання змісту звіту (підручника). Практичне використання цих методик показало, що найбільш результативними з них є методики інтерв'ювання та складання змісту звіту (підручника).

Таблиця 2.1 – Стратифікація інформації та види аналізів предметної області інтелектуальної системи

Рівень страти	Категорія знань	Вид аналізу інформації
1	НАВІЩО	Стратегічний аналіз: призначення і функції системи
2	ХТО	Організаційний аналіз: колектив розробників системи
3	ЩО	Концептуальний аналіз: основні принципи, понятійна структура
4	ЯК	Функціональний аналіз: гіпотези і моделі прийняття рішень
5	ДЕ	Просторовий аналіз: оточення, обладнання, комунікації
6	КОЛИ	Тимчасовий аналіз: тимчасові параметри і обмеження
7	ЧОМУ	Причинно-послідовний (каузальний) аналіз: формування підсистеми пояснень
8	СКІЛЬКИ	Економічний аналіз: ресурси, витрати, прибуток, окупність

Прогресивним підходом подання взаємопов'язаних структур інформації (знань) є використання методу сценаріїв, які будуються за аналогією з організацією людської пам'яті, де знання об'єднані зв'язками різних типів [11, 76]. Сценарії складаються з фрагментів (сцен), пов'язаних просторовими або тимчасовими відношеннями. Елементи інформації (знань) з фрагментів можуть бути пов'язані відносинами різної природи: функціональними, асоціативними, ситуативними, причинно-наслідковими та ін. [49, 85]. Процедури узагальнення і деталізації понять вимагають від експертів і аналітиків високої кваліфікації, оскільки через погану формалізацію. Ієрархічне представлення знань вимагає встановлення відносин між поняттями в межах кожного рівня ієрархії і між самими поняттями.

Підсумковим структуруванням інформації (знань) є аналіз можливих ланцюжків міркування і вироблення правил прийняття рішень. Це дозволяє об'єднати сформовані поняття та відношення в динамічну модель знань предметної області ІС. Послідовність структурування знань передусім залежить від особливостей конкретної області ІС та від використаних предметно-орієнтованих методів.

Оскільки семіотичний підхід до моделювання інформації на даний час є одним з найбільш перспективних [36], то розглянемо відому в семіотиці схему у вигляді трикутника Фреге (рис. 2.3).

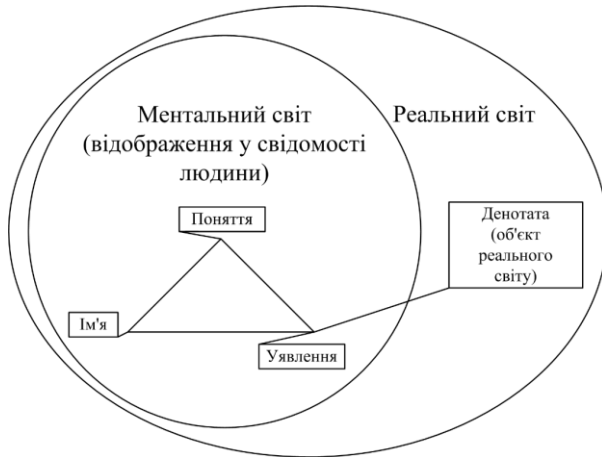


Рисунок 2.3 – Трикутник Фреге

Значимо, що об'єктами реального світу є денотати, які відображаються у свідомості людини (ментальному світі). Таке відображення сприяє уявленню про денотати. При цьому уявлення є інтегрованим образом денотат, отриманому на основі відчуттів і інших джерел інформації. Денотати характеризуються іменами, пов'язаними з уявленнями про сутність та формуються відповідні поняття. Дані реалізується процедура виявлення подібності та відмінності уявлень. Між ментальними об'єктами (уявлення, ім'я, поняття), що утворюють трикутник Фреге, існують зв'язки, що відповідають певним механізмам мислення. Зв'язок 1 дозволяє по імені сутності активізувати в пам'яті всі відомості про властивості (поняття). Цей зв'язок в зворотному напрямку дозволяє за описом сутності визначити ім'я. Зв'язок 2 дозволяє за поданням про сутність знайти інформацію про властивості (поняття) або сформувати уявлення про сутність за сукупністю властивостей. Зв'язок 3 з'єднає уявлення про денотату з її ім'ям, яке може активізувати уявлення і навпаки.

У інформаційній структурі у відповідності до трикутника Фреге, вершини якого ототожнюються з ім'ям, поняттям і уявленням, і є знаком або семою. Між знаками існують різного роду відносини. Особливе значення в отриманні знань мають відносини успадкування, до яких відносяться такі типи: "елемент-клас", "частина-ціле", "вид-род". Важливою властивістю відносин "елемент-клас" ($x \in X$) є те, що між елементами класу може не бути ніякої схожості, крім належності до одного класу. Визначення класу в подібних випадках можливо шляхом перерахування імен належних до нього елементів. У відносинах "частина-ціле" ($y \in Y$) успадковується частина властивостей сутності, якої приписана роль "цілого" (X). При цьому частини

одного цілого можуть бути абсолютно не схожі один на одного. Відносини "вид-род" базуються на спадкуванні всіх властивостей роду X видом Z, тому між видами одного роду обов'язково існує схожість.

Між знаками, що знаходяться на одному ієрархічному рівні, теж можуть існувати зв'язки. Типовим прикладом таких зв'язків є відносини типу "причина-наслідок". Наявність відносин всередині ієрархічних рівнів призводить до утворення мереж, в яких вершини відповідають знакам, а дуги – відношенням між знаками, що є семантичними мережами. Зазначимо подібність понять знака та фрейми, що породило концепцію знака-фрейма і що являє собою трикутник з вершинами:

- ім'я (ім'я фрейма = ім'я знака);
- протофрейма (набір слотів "порожнього" фрейму-прототипу);
- екзофрейм (конкретний фрейм-екземпляр).

Для дослідження операцій над знаками-фреймами вводять метарівень. На метарівні в якості денотатів виступають знаки-фрейми, а ментальними об'єктами є метазнаки, які характеризуються синтаксисом (ім'ям або іншим способом кодування), семантикою (поняттям, конкретним змістом для суб'єкта) і прагматикою (процедурами, пов'язаними зі знаками). Взаємозв'язок цих аспектів можна уявити трикутником Фреге, зі зв'язками між синтаксисом і семантикою. Зв'язки між семантикою і прагматикою дозволяють формувати певні дії на основі аналізу ситуації, яка характеризується даним знаком. Зв'язок між цими аспектами в протилежному напрямку можна інтерпретувати як пояснення причин подій, що відбулися. Зв'язок синтаксису з прагматикою передбачає перехід до дій при згадці імені без аналізу семантики, а також дозволяє відновити синтаксис (ім'я) ситуації щодо виконаних дій. Синтаксис семантики знаків не мають однозначної та жорстко окресленої сутності та характеристики.

Структура семіотичної моделі знань деякої предметної області, або поля знань, на якому створюється база знань (БЗ) інтелектуальної системи, показана на рис. 2.4 [11, 81].

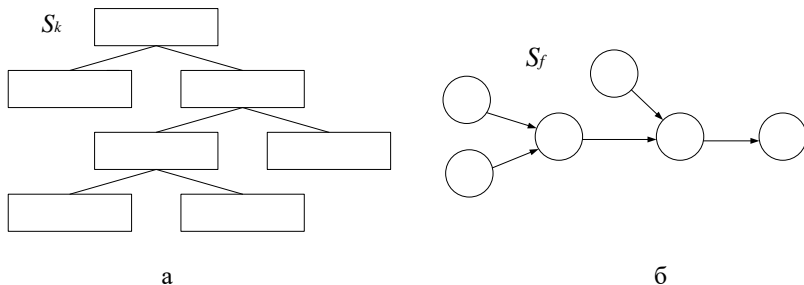


Рисунок 2.4 – Приклади схем статичної концептуальної (а) та динамічної функціональної структур полів інформації моделі предметної області інтелектуальних транспортних або виробничих систем

Синтаксис семіотичної моделі поля інформації (знань) предметної області ІТС або ІВС можна описати наступними ознаками:

$$P = \{I, O, M\}, \quad (2.2)$$

де I – структура вихідних даних, що підлягають обробці і інтерпретації у відповідній системі; O – структура вихідних даних; M – модель предметної області, що описує перетворення I в O , яка може бути представлена двома складовими S_k та S_f , тобто $M = \{S_k, S_f\}$.

Компонента S_k відображає понятійну структуру предметної області ІС у вигляді статичної концептуальної структури, а S_f – динамічна функціональну структуру, що моделює можливі схеми міркувань експерта на основі функціональних зв'язків або відношень між поняттями, що утворюють S_k .

Семантика моделі визначається конкретним змістом інформації (знань) проблемної області ІС. Зміст використовуваних в моделі понять і відносин визначається і поступово уточнюється в процесі отримання інформації (знань), в якому можна виділити наступні етапи:

1. Побудова первинної моделі, як семантичної репрезентації реальності, відображає уявлення експерта про предметну область (особистий досвід).
2. Експерт вербалізує свій досвід, пояснюючи способи міркувань в процесі передачі інформації (знань) аналітику (семантика інформації (знань) предметної області уявляється текстом).
3. Аналітик інтерпретує вербалізований досвід експерта та формує власне уявлення про інформацію (знання) даної предметної області ІС.
4. Формується модель поля інформації (знань) даної предметної області ІС.

Під прагматичною складовою семіотичної моделі фахівці в галузі ШІ розуміють практичні аспекти розробки поля інформації (знань), пов'язані зі створенням і застосуванням технологій проведення структурного аналізу, узгодження окремих фрагментів знань, розв'язанням протиріч і т.п. Прагматика в даному випадку визначає вибір технологій, які використовує аналітик для перетворення хаотичного досвіду експерта в струнку модель поля знань проблемної області ІС.

2.2 Методи формування інформації в інтелектуальних системах

Різноманіття завдань, ситуацій і джерел інформації (знань) зумовило появу великої кількості методів отримання і формування інформації (знань) в різних за природою системах, в т.ч. ІТС і ІВС. Одна з можливих класифікацій методів отримання інформації в ІВС приведена на рис. 2.5.

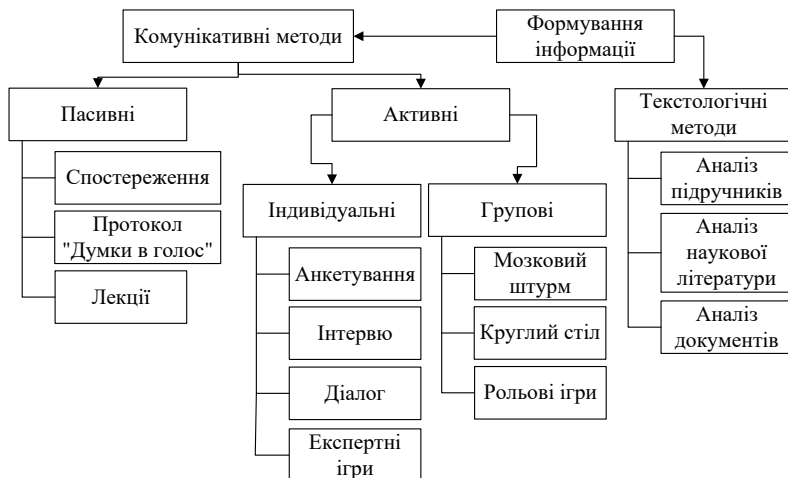


Рисунок 2.5 – Класифікація методів формування інформації в інтелектуальних системах

На першому рівні виділяють два великі класи методів: комунікативні та текстологічні. Комунікативні методи орієнтовані на безпосередній контакт аналітика з експертом (джерелом інформації (знань)), а текстологічні методи, засновані на отримання інформації (знань) з документів та спеціальної літератури.

Комунікативні методи в свою чергу поділяють на пасивні і активні. Комунікативні методи в свою чергу поділяються у пасивних методах провідну роль надають експерту, а активних – аналітику. При вирішенні конкретних завдань, як правило, використовують ці методи. Активні методи поділяють на індивідуальні та групові. У групових методах інформацію (знання) отримують від сукупності експертів, в індивідуальних – від єдиного експерта. Індивідуальні методи більш широко застосовують на практиці ніж групові.

Пасивні комунікативні методи включають спостереження, аналіз протоколів "думок вголос", процедури вилучення інформації (знань) з лекцій.

Значимо, що найбільш використаним на початкових етапах розробки ЕС є метод спостереження. Його сутність полягає у фіксуванні всіх дій експерта та його пояснень. При цьому аналітик не втручається в роботу експерта, а тільки спостерігає за процесом вирішення реальних завдань або за рішенням проблем, імітуючи реальні завдання. Щоб глибше зрозуміти предметну область ІС аналітик спостерігає за самим процесом вирішення й вирішити реальні завдання. Експерт в цьому випадку знає велике психологічне напруження, розуміючи, що здійснює не тільки свою професійну діяльність, але й демонструє її аналітику. Спостереження за імітацією такого процесу знімає цю напругу, але призводить до зниження повноти і якості отриманих даних.

Метод аналізу протоколів "думок вголос" відрізняється від методу спостереження тим, що експерт не тільки коментує свої дії, але і пояснює ланцюжок своїх міркувань, що призводить до вирішення завдань предметної області ІС. Важливою проблемою при реалізації даного методу є неточність та складність для людей словесного оформлення думок та практичних рішень. Підвищити повноту і якість набутих знань можна за рахунок багаторазового уточнюючого протоколювання міркувань експерта.

Метод отримання знань з лекцій передбачає, що експерт передає свій досвід аналітику в формі лекцій. При цьому аналітик може заздалегідь сформулювати теми лекцій. Якщо цього не вдається зробити, то когнетолог конспектує лекції і задає питання. Якість інформації, наданої експертом в ході лекції, визначається чіткістю сформованою теми, а також здібностями лектора в структуруванні і викладі своїх знань і міркувань.

Порівняльні характеристики пасивних методів отримання інформації (знань) наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Порівняльні характеристики пасивних методів формування інформації (множини знань) в інтелектуальних системах

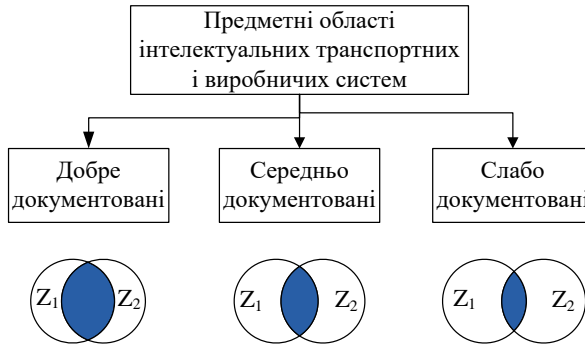
Показники	Спостереження	"Думки вголос"	Лекції
Переваги	Відсутність впливу аналітика і його суб'єктивної позиції. Максимальне наближення аналітика до предметної області.	Свобода самовираження для експерта. Вербалізація міркувань. Відсутність впливу аналітика і його суб'єктивної позиції.	Свобода самовираження для експерта. Структурований виклад. Висока концентрація. Відсутність впливу аналітика і його суб'єктивної позиції.
Недоліки	Відсутність зворотного зв'язку. Фрагментарність отриманих коментарів.	Відсутність зворотного зв'язку. Можливість відходу "в сторону" розсуду експерта.	"За шумленість" деталями. Слабкий зворотній зв'язок. Недолік хороших лекторів серед експертів-практиків.
Вимоги до експерта (типи та основні якості)	Співбесідник або мислитель: здатність до вербалізації думок, аналітичного складу розуму, відкритість, рефлексивність		Мислитель: лекторські здібності
Вимоги до аналітика (типи та основні якості)	Мислитель: спостережливості, полнезалежність	Мислитель або співбесідник: полнезалежність, здібність до спілкування	Мислитель: полнезалежність, здібність до спілкування
Характеристика предметної області	Слабо- і середньо структуровані, слабо- і середньо документовані		Слабо структуровані, слабо документовані

Одна з можливих класифікацій за психологічними характеристиками [32] поділяє всіх людей на три типи:

- мислитель (пізнавальний тип);
- співрозмовник (емоційно-комунікативний тип);
- практик (практичний тип).

Можна бачити, мислителі орієнтовані на інтелектуальну роботу, навчання, теоретичні узагальнення і мають властивості полнезалежності і рефлексивності. Співрозмовники – комунікабельні, відкриті люди, готові до співпраці. Практики-перевагу надають діям у порівнянні з розмовами, добре реалізують задуми інших.

Предметні області ІС відрізняються рівнем документованості і структурованості. Для характеристики предметної області ІС за рівнем документованості виділяють три класи: добре документовані, усереднено документовані і слабо документовані області (рис. 2.6).



Z_1 – експертна "особиста" інформація (знання); Z_2 – матеріалізована в книгах "загальна" інформації (знання); $Z_{\text{по}} = Z_1 \cap Z_2$ – інформації (знання) предметної області.

Рисунок 2.6 – Класифікація предметних областей по рівню документованості в інтелектуальних системах

За мірою структурування інформації (множини знань) предметні області в ІТС та ІВС можуть бути:

- структуровані мають сформовану термінологію, систему аксіом та чітко розроблений математичний інструментарій;
- середньо структуризовані – з визначеною термінологією, що розвивається теорією, явними взаємозв'язками між процесами явищами;
- слабо структуризовані – з розмитими визначеннями, багатим емпіричним матеріалом, прихованими взаємозв'язками.

Активні індивідуальні методи включають методи анкетування, інтерв'ювання, вільного діалогу і гри з експертом. Порівняльний аналіз методів даної групи наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Порівняльні характеристики активних індивідуальних методів формування інформації (множини знань) в інтелектуальних системах

Показники	Анкетування	Інтерв'ювання	Вільний діалог
Переваги	Можливість стандартизованого опитування декількох експертів Не вимагає особливого напруження від аналітика під час процедури анкетування	Наявність зворотного зв'язку (можливість уточнення контексту і дозволу протиріччя)	Гнучкість Зворотній зв'язок Можливість змін сценарію і форми сеансу
Недоліки	Вимагає умінь і досвід складання анкет Відсутність контексту і зворотного зв'язку. Питання анкети можуть бути незрозумілі експертом	Вимагає значного часу на підготовку питань інтерв'ю	Вимагає від аналітика високої напруженості Відсутність формальних методик проведення Трудність протоколування результатів
Вимоги до експерта	Практик і мислитель	Співбесідник і мислитель	
Вимоги до аналітика	Мислитель (педантизм в складанні анкет, уважність)	Співбесідник (журналістські навички, умінь слухати)	Співбесідник(спостережливість, умінь слухати)
Характеристика предметної області	Слабо структуровані, середньо документовані		

Перевагою методів анкетування в отриманні інформації (множини знань) в ІС є те, що анкета або запитальник складаються аналітиком заздалегідь і використовуються для опитування експертів. Складання анкети слід проводити з урахуванням рекомендацій, розроблених в соціології і психології.

Основними вимогами до анкет є наступні [11, 82]:

1. Анкета не повинна бути монотонною і одноманітною, щоб не викликати нудьгу або втому, необхідно урізноманітнювати тематику і форму задані питань, включити питання-жарти і застосувати стиль гри.

2. Анкета повинна бути пристосована до мови експерта.

3. Слід враховувати, що питання впливають один на одного, з цього важливо розташувати їх у правильній послідовності.

4. В анкеті повинно міститися оптимальне число надлишкових питань, частина яких призначена для контролю правильності відповідей, а інша частина – для зняття напруги.

Метод інтерв'ювання в отриманні інформації (знань) в ІС відрізняється від методу анкетування тим, що дозволяє аналітику опускати ряд питань в залежності від ситуації, вставляти нові питання в анкету, змінювати теми і урізноманітнити ситуацію спілкування. Важливу роль в методі інтерв'ювання відіграють питання, класифікація яких показана на рис. 2.7.

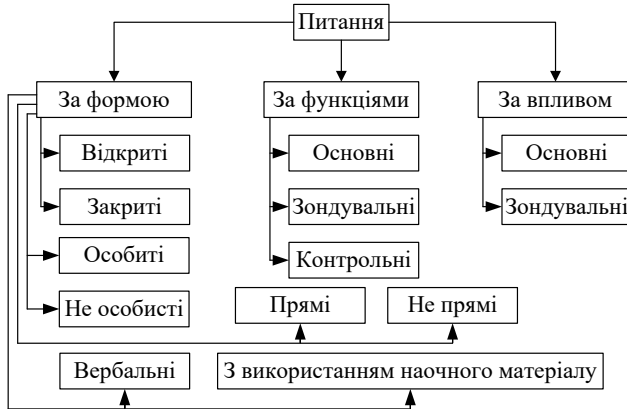


Рисунок 2.7 – Класифікація питань в методі інтерв'ювання при отриманні інформації (множини знань) в інтелектуальних системах

Відкриті питання дають тему або предмет, натомість експерт володіє повною свободою при змісті відповіді та її форми. Закриті питання пропонуються експерту вибрати відповідь із запропонованого набору. Особисті питання безпосередньо стосуються особистого досвіду експерта. Неособисті питання спрямовані на виявлення найбільш поширених закономірностей предметної області. Прямі питання безпосередньо вказують на предмет, що цікавить або тему (використовується при "скованості" експерта). Непрямі питання поволі зачіпають проблему, яка розглядається. Вербальні питання – традиційні усні питання. Питання з використанням наочного матеріалу дозволяють урізноманітнити інтерв'ю і зняти втому експерта (використовуються фотографії, рисунки, картки).

Основні питання спрямовані на виявлення інформації (множини знань) в ІС. Зондувальні питання направляють міркування експерта в потрібну сторону. Контрольні питання перевіряють достовірність і об'єктивність інформації, отриманої в інтерв'ю раніше. Нейтральні питання підкреслюють неупередженість аналітика до предмету дослідження. Навідні питання орієнтують експерта взяти до уваги позицію аналітика.

Додатково в інтерв'ю рекомендується включати наступні питання: контактні, що знімають психологічний бар'єр між аналітиком і експертом; буферні, що розмежовують окремі теми інтерв'ю; що поживляють пам'ять експертів, які реконструюють окремі випадки з практики; "провокуючі", що сприяють отриманню непередбачених відповідей.

При використанні методу інтерв'ювання отримання інформації (знань) в ІС слід мати на увазі, що його ефективність багато в чому визначається мовою питань, яка повинна бути зрозумілою, лаконічною, з певною термінологією; порядком питань, що характеризує логічну послідовність; доречністю питань з етичністю та ввічливістю. Перш ніж готувати питання, аналітик повинен опанувати ключовим набором інформації (знань) досліджуваної предметної області, оскільки будь-яке питання має сенс тільки в контексті.

Метод вільного діалогу дозволяє отримати інформацію (знання) у формі бесіди з експертом, тому тут не передбачається використання жорсткого опитувальника або плану. У той же час підготовка до вільного діалогу повинна проводитися за спеціальною методикою, в яку входить загальна, спеціальна, конкретна і психологічна підготовка. Загальна підготовка спрямована на підвищення наукової ерудиції, оволодіння загальною культурою, знайомство з системною методологією. Спеціальна підготовка зводиться до оволодіння теорією і навичками інтерв'ювання. Звичайна підготовка дає можливість вивити інформацію про прикладну область, підготувати ситуації для знайомства та спілкування з експертом, а також провести його тестування. Психологічна підготовка дає можливість ознайомитись з теоретичною частиною спілкування, а також з когнитивною психологією.

Ігри з експертом суттєво відрізняються від наведених вище індивідуальних активних методів отримання інформації (знань) і розглядаються в класі групових активних методів, де особливе місце належить рольовим і експертним методам.

Активні групові методи включають "мозковий штурм", дискусії за круглим столом та рольові ігри. Групові методи дозволяють творчо інтегрувати знання групи експертів. Порівняльний аналіз методів наведено в табл. 2.4.

Метод "мозкового штурму" відомий та широко використовується для формування нових та раціональних ідей групою фахівців підчас творчої співпраці. В даному випадку група являється мозковим центром, щоб вирішити труднощі в ІС, які дають можливість вирішити поставлену проблему. Підчас реалізації даного методу учасники формують та допомагають розвинути раціональні ідеї або їх комбінації. Що метод "мозкового штурму" був максимально ефективним він керується певними правилами. В такому випадку відводиться поділ в часі на процес: висування ідей, обговорення, оцінка. При реалізації першої стадії категорично забороняється критикувати висунуті ідеї та пропозиції. Вважається, що критичні зауваження відводять до частковостей, переривають творчий процес, заважають висунення ідей. Роль аналітика полягає в тому, щоб активізувати творче мислення учасників засідання і забезпечити висунення якомога більшої кількості ідей.

Таблиця 2.4 – Порівняльна характеристика активних групових методів отримання інформації (множини знань) в інтелектуальних системах

Показники	"Мозковий штурм"	Дискусія за круглим столом
Переваги	Дозволяє виявляти глибинні пласти інформації (знань) (на рівні несвідомості). Активізує експертів. Дозволяє отримувати нові знання.	Дозволяє отримувати більш об'єктивні фрагменти знань. Оживляє процедуру вилучення знань. Дозволяє учасникам обмінюватись знаннями.
Недоліки	Можливий тільки для нових цікавих дослідних проблем. Не завжди ефективний (достатньо низький відсоток продуктивних ідей).	Вимагає великих організаційних витрат. Відрізняється складністю проведення.
Вимоги до експерта	Мислитель (здатність до творчості)	Співбесідник або мислитель (мистецтво полеміки)
Вимоги до аналітика	Співбесідник або мислитель (швидка реакція і почуття гумору)	Співбесідник (дипломатична здатність)
Характеристика предметної області	Слабо структурні і слабо документовані з наявністю перспективних "білих плям"	Слабо структурні і слабо документовані з наявністю спірних проблем

Після висунення ідей виконуються ретельне їх обговорення, оцінка і відбір кращих. На раціональних ідеях і розробити напрямки їх розвитку. Ідеї, які виникли під час обговорення можуть базуватись на ідеях попереднього етапу або бути фундаментом для деякої комбінації ідей. Значний позитивний ефект "мозкового штурму" є можливість синтезувати високо ефективні комбінації ідей з розглядом їх переваг та недоліків. Стадія обговорення під час "мозкового штурму" дає можливість сконцентрувати увагу групи учасників

Використання методу "мозкового штурму" в ІС є ефективним при вирішенні не надто складних завдань загального організаційного характеру, коли проблема добре знайома всім учасникам засідання і з даного питання є достатня інформація. Існує ряд модифікацій цього методу: індивідуальний, колективний, масовий, подвійний, зворотній [2, 4, 13, 83, 90]. Індивідуальний "мозковий штурм" проводиться за тими же правилами, що і колективний, але

виконується одним експертом, який одночасно генерує ідеї, дає їм об'єктивну оцінку і критикує їх.

Масовий "мозковий штурм" проводиться в масовій аудиторії (до декількох десятків чоловік). Відбір ідей проводиться на проміжних етапах. Експерти групуються по 6...8 чоловік, при цьому важливо, щоб безпосереднє відношення до завдання мав лише керівник групи, а інші були лише знайомі з ним. Інакше амбіції можуть зіграти негативну роль. Штурм проводиться в два етапи. Перший етап характеризується прямим "мозковим штурмом" оперативних груп. При цьому бажано, щоб кожна група працювала над завданням, найбільш близьким за тематикою до профілю й увійшли до неї фахівці. На другому етапі керівники кожної групи протягом декількох хвилин оцінюють висунуті ідеї, відбирають з них найбільш цікаві та повідомляють про них на "пленарному засіданні".

Процес генерування ідей у супроводі з доброзичливою критикою направленою на окреслення предметної області має назву подвійний "мозковий штурм". Зворотній "мозковий штурм" відрізняється від прямого тим, що в ньому більше уваги приділяється критиці висловлених ідей.

Метод дискусії за круглим столом передбачає рівноправне обговорення експертами поставленої проблеми або завдання. Відмінною особливістю методу дискусії є колективне розгляд предметної області з різних точок зору і дослідження спірних гіпотез. Експертні ігри призначені для вилучення інформації (знань) і базуються на ділових, групових і комп'ютерних іграх (табл. 2.5).

За кількістю учасників ігри поділяють на індивідуальні (ігри з експертом) і групові (рольові ігри в групі). По застосуванню спеціального обладнання - гри з тренажерами та ігри без реквізиту. Особливий клас представляють собою комп'ютерні ігри. В іграх з експертом аналітик бере на себе певну роль в моделюючій ситуації, в даному випадку групові рольові ігри потребують участі декількох фахівців в прикладній області. Учасники гри наділяються певними ролями, а власне гра проводиться за складеним когнітологією сценарієм. З метою підвищення ефективності рольових ігор в них вводяться елементи змагальності. Ігри з застосуванням тренажерів дозволяють зафіксувати важливі знання, які виникають в реальних ситуаціях і можуть бути втрачені при виході з них. Комп'ютерні експертні ігри в даний час використовуються, в основному, з метою навчання. Вони корисні для "розминки" експертів перед сеансом формування знань.

Текстологічні методи включають методи формування інформації (знань), засновані на вивченні текстів підручників, спеціальної літератури та документів. Текстологія – це наука, метою якої є практичне прочитання текстів, вивчення і інтерпретація літературних джерел, а також розгляд семіотичних, психолінгвістичних та інших аспектів отримання інформації (знань) з текстів. Схема отримання інформації (знань) в ІС із спеціальних текстів приведена на рис. 2.8.

Таблиця 2.5 – Порівняльні характеристики експертних ігор як методу формування інформації (множини знань) в інтелектуальних системах

Показники	Експертні ігри		
	індивідуальні	групові	комп'ютерні
Переваги	Дають можливість швидко отримувати якісну картину прийняття рішень. Дозволяють вирішувати, яку інформацію і як використовувати.	Реалістично відтворюють атмосферу конкретного завдання. Дають свободу експертам. Групові заняття більш об'єктивні. Виявляють логіку і аргументацію експертів.	Викликають інтерес у експерта. Залучають дизайном і динамікою.
Недоліки	Відсутність методик і стандартного набору ігор. Високі професійні вимоги до аналітика	Вимагають від аналітика знань основ ігротехніки. Складність створення ігор для конкретних предметних областей	Складність і висока ціна створення спеціалізованих ігор в конкретній предметній області
Вимоги до експерта	Співбесідник або практик (розкутість і акторська майстерність)		Практик (без психологічного бар'єра до ПК)
Вимоги до аналітика	Співбесідник (режисерські спостереження, вміння створювати сценарій, акторська майстерність)	Співбесідник (здатність до ведення конференсу, режисерська здатність, акторська майстерність)	Мислитель (контакт з програмістом)
Характеристика предметної області	Середньо і слабо структуровані і слабо документовані		



M_1 – зміст закладений автором і заснований на його моделі власного бачення проблеми; M_2 – зміст проблеми, який осягає аналітик; I – інтерпретація тексту, викладеного словесно; T – словесне викладання інформації (знань); V – результат вербалізації.

Рисунок 2.8 – Схема формування інформації (знань) з тексту книги

Науковий текст T , який формується автором на основі моделі M_1 включає в себе п'ять компонентів, занурених в мовне середовище L : $T = (\alpha, \beta, \gamma, \delta, \theta)$ де α – первинний матеріал автора; β – система наукових понять; γ – суб'єктивний погляд автора; δ – додаткова інформація, яка не стосується наукового знання; θ – запозичення. На процес розуміння (інтерпретації) T і на модель M_2 впливають такі компоненти: $M_2 = [(\alpha, \beta, \gamma, \delta, \theta)', \omega, \varepsilon, \varphi]$, де $(\alpha, \beta, \gamma, \delta, \theta)'$ – вектор компонентів, почерпнутих з тексту T , ω – попередні знання аналітика про предметну область; ε – загальнонаукова ерудиція аналітика; φ – особистий досвід аналітика.

Експерт на підставі моделі M_1 , представляє свої знання у вигляді тексту (рис. 2.8). Аналітик на підставі своєї моделі знань M_2 та інформації з тексту T , інтерпретує знання експерта. Схема процесу отримання інформації (знань) з тексту показує, що зміст M_1 відрізняється від змісту M_2 . Ці відмінності визначаються тим, наскільки розвинені фактори $\omega, \varepsilon, i, \varphi$ у конкретного аналітика.

Особливу складність представляє отримання інформації (знань) зі спеціальної літератури і методик, оскільки в них дуже високий ступінь її концентрації.

Найпростіший алгоритм формування інформації (знань) з текстів включає наступні кроки:

1. Формування "провідного" списку літературних джерел, щоб ознайомитись з прикладною областю.
2. Вибір тексту для отримання інформації (знань).
3. Швидке знайомство з текстом та проведення консультації з фахівцями для визначення значень незнайомих слів.
4. Формування першої гіпотези про макроструктуру тексту.
5. Уважне читання тексту з виписуванням ключових слів і виразів, визначивши тим самим "істинні поняття".
6. Формування зв'язку в переліку ключових слів, макроструктури текстової інформації в формі реферату або графів.
7. Формування нової інформації (знань) на підставі макроструктури тексту.

Інформація (знання), отримані від експерта в прямому діалозі, мають поверхневий характер і не відображають складних механізмів мислення фахівця. Прихована інформація (знання) служать основою інтуїтивного мислення. Інтуїція дозволяє людині швидко приймати правильні рішення в складних ситуаціях за недостатньої інформації. При цьому вважається можливість неявно використовувати ряд посилок в своїх міркуваннях, а також обходитись без застосування суворих правил логічного висновку. Роль інтуїції в прийнятті рішень важко переоцінити. Тому проблеми отримання, вербалізації і використання імпліцитних знань завжди є актуальними. Ця парадигма була покладена в основу архітектури сучасних комп'ютерів, головною рисою яких є дискретність оброблюваної інформації. Недоліки дискретних моделей - це низька швидкість обробки інформації і неможливість представлення імпліцитних знань, які існують в невербальній формі.

Видатний когнітолог М. Хайдеггер запропонував новий підхід в теорії пізнання, висунувши гіпотезу про те, що людина не може мати об'єктивної інформації (знання) про навколишню дійсність, бо вона структурується людиною в залежності від цілей, конкретних обставин, цінностей і т.п. [14, 51, 87]. Дискретні моделі навколишнього світу, що претендують на об'єктивність, мають невелике значення в житті людини. Головну роль в її діяльності відіграють імпліцитна інформація (знання), навички і живий досвід, які існують в невербальній, а отже, не в дискретній формі. Ідеї Хайдеггера послужили основою коннекціоністської теорії пізнання, покладеної в основу моделей нейронних мереж. Коннекціоністська модель не є дискретною, вона не будується в явному вигляді, а з'являється в результаті навчання на прикладах. Тому нейронні мережі успішно застосовуються для імітації несвідомих знань.

Як і слід було очікувати, рішення одних проблем породжує інші. Позбавлення від дискретності супроводжувалося істотним зниженням можливості структурного представлення інформації (знань). У перспективі розвитку – методології отримання інформації (знань) ІС здійснюється інтеграція обох підходів. Доброю аналогією є диференціальні рівняння, що є безперервними моделями реальних процесів, для вирішення яких використовуються дискретні методи. Розглянемо методи виявлення прихованої інформації (знань) в психосемантиці, яка дозволяє досліджувати структури свідомості через моделювання індивідуальної системи знань людини і виявляти елементи знань, які можуть їм не усвідомлювати (латентні, приховані, імпліцитні). Психосемантика об'єднує методи когнітивної психології, психолінгвістики, психології сприйняття і дослідження індивідуальної свідомості.

Основним методом психосемантики є побудова суб'єктивних семантичних просторів із застосуванням статистичної процедури: багатовимірне шкалювання [26, 41, 42, 86, 92], репертуарні ґратки [45, 66, 68], факторний [18, 27, 88, 98] і кластерний аналізи [15, 16, 27, 97]. Зазначені методи дозволяють згрупувати окремі описові ознаки в більш місткі категорії-фактори. При цьому, відбувається перехід до опису предметної області на більш високому рівні абстракції за допомогою метамови виділених категорій, і з проходження властивостей семантичних просторів. Це дозволяє виявляти закономірності в конкретній галузі знань, яка використовується, наприклад, для вирішення проблем та завдань в ІТС і ІВС.

Дослідження, проведені в даному напрямку, показали, що розмірність семантичного простору зменшується з підвищенням рівня кваліфікації фахівців. Цей факт узгоджується з відомим положенням когнітивної психології про те, що процес пізнання супроводжується узагальненням отриманої інформації (знань) в ІС.

Алгоритм побудови семантичного простору в ІС включає три основних етапи:

1. Вибір і застосування методу оцінки семантичної подібності ознак.

2. Побудова структури семантичного простору на підставі математичного аналізу отриманої матриці схожості.

3. Ідентифікація та інтерпретація виділених факторних структур, кластерів, груп об'єктів, осей і т.д.

Методи багатовимірної шкалювання в ІС засновані на статистичних методах обробки експертних оцінок подібності між аналізованими об'єктами, які вибираються з певної шкали. Результати обробки представляються у вигляді точок деякого координатного простору. При цьому шкалювання є пошуком підпростору, для якого величина $[D^m - D^{m^*}]$ має мінімальне значення, де D^m , D^{m^*} – матриці відстаней між об'єктами (ознаками) у вихідному просторі D^m і в шуканому підпросторі D^{m^*} , m і m^* – розмірності відповідних просторів. Якщо $m^*=2$, шкалювання перетворюється в проектування на площину. Значення відстаней в матрицях D можуть вибиратися експертом із запропонованої шкали або обчислюватися за сукупністю ознак, що описують об'єкт. Відстані можна вирахувати різними способами [26]. Евклідова відстань дорівнює:

$$d_{i,j} = \left(\sum_{k=1}^K (x_i^k - x_j^k)^2 \right)^{1/2}, \quad (2.3)$$

де x_i^k , x_j^k – значення k -ої ознаки у i -го і j -го об'єктів відповідно; K – загальне число ознак. Умови відстані-метрики:

$$d(x, y) \geq 0; \quad d(x, x) = 0; \quad d(x, y) = d(y, x); \quad d(x, y) = d(y, z) \geq d(x, z). \quad (2.4)$$

Виходячи з цього, метричне шкалювання є утворенням нових класів з використанням метричних відстаней. Цей тип обробки даних орієнтований на максимальне зближення числових значень матриць D^m і D^{m^*} . Існує також неметричне шкалювання, яке не пред'являє жорстких вимог до зближення просторів. Важливо відзначити, що в шкалах відшукуються не нові ознаки, а нові простори, тому отримані при цьому результати слід інтерпретувати як відновлену (на площині або в об'ємі) структуру розташування точок.

Головними недоліками методу багатовимірної шкали є:

- суб'єктивні оцінки подібності між об'єктами і ознаками обробляються як відстані в просторі, а результати аналізуються на основі геометричної інтерпретації, що обмежує розмірність виявлених просторів і вимагає серйозного спрощення реальних знань експерта, наслідком якого можуть стати неадекватні базові знання;

- виділені підпростори не мають ієрархічної організації, що ускладнює їх інтерпретацію;

- використовується тільки один вид відношень між поняттями (відношення подібності).

На виявлення прихованого практичного досвіду експерта орієнтовано і метафоричний підхід. В основі підходу лежить порівняння об'єктів предметної області з абстрактними об'єктами. В результаті чого виявляються нові властивості аналізованих об'єктів і визначається ставлення до них експерта. При метафоричних порівняннях, експерт виходить за рамки об'єктивності і діє відповідно до своїх суб'єктивних уявлень.

Для отримання інформації (знань), широко може застосовуватися метод репертуарних ґраток, запропонований Дж. Келлі [66, 72, 89]. Репертуарна ґратка являє собою матрицю, яка заповнюється експертом. Стовпчики матриці відповідають певним групам об'єктів (елементів). В якості них можуть виступати люди, предмети, поняття, відносини, звуки та ін. Рядки матриці відповідають конструктам, які представляють собою біполярні ознаки, параметри, шкали, відношення або способи поведінки. Конструкт – це ознака або властивість, що визначають схожість двох або кількох об'єктів і їх відмінність від інших об'єктів. Вони можуть використовуватися для узагальнення і поділу об'єктів на класи. Конструкти взагалі можна застосувати не до будь-яких об'єктів, а тільки в деякому "діапазоні їх придатності" – [45, 60, 93]. Вони можуть бути задані аналітиком або підбиратися експертом. В останньому випадку виділяються особистісні конструкти, що відображають ідеї або думки, які використовують для усвідомлення, інтерпретації, пояснення або передбачення дійсності. Слово репертуарна означає, що аналізовані об'єкти вибираються за спеціальними правилами, так, щоб вони були пов'язані певним контекстом аналогічно репертуару ролей в п'єсі. В техніці елементи репертуарних ґраток часто задаються у вигляді узагальнених описів.

Для виявлення конструктів використовуються: послідовний метод, методи мінімального контексту, самоідентифікації і рольової персоніфікації. Відповідно до методу мінімального контексту експерту пред'являються довільні "трійки" об'єктів і пропонується визначити властивості, що відрізняють один об'єкт від двох інших. Визначаються в результаті не тільки значення характеристик, але і самі характеристики. При формуванні ґратки за однією з її осей розташовуються значущі конкретні об'єкти, а за іншою – розряди (типи, ролі), до яких вони належать.

Розподіливши об'єкти за типами, експерт заповнює перший ряд матриці під колонками, позначивши три об'єкти кружечками. При цьому він повинен підібрати характеристику, яка забезпечує схожість у двох об'єктів і відрізняє їх від третього. Кружечки, відповідні подібним об'єктам, перекреслюються. У стовпець з ім'ям "поліос конструкту" записується найменування ознаки, що забезпечує схожість двох об'єктів, в стовпець "протилежащий поліос" – ім'я ознаки, що відрізняє третій об'єкт від двох подібних. Потім проводиться аналіз залишених в першому ряду об'єктів по виділеному позитивного конструкту і галочками відзначаються об'єкти, що володіють цією властивістю.

Традиційна ґратка повинна бути квадратної, тобто в матриці заповнюють число рядків, яка дорівнює кількості об'єктів (типів). У

загальному випадку ця умова не є обов'язковим. Аналіз репертуарних ґраток дозволяє виявляти значимі для фахівця ознаки (конструкти), визначати силу і спрямованість зв'язків між конструктами і будувати з них зв'язну систему.

Найпоширенішим і простим методом аналізу репертуарної ґратки є кластерний аналіз. Ієрархічна кластеризація здійснюється на основі вибору елементів матриць, що мають найбільше число зв'язків. Крім того, конструкти можуть бути представлені як точки багатовимірного простору, площини якого визначаються числом пов'язаних з конструктами елементів. Факторний аналіз простору конструктів дозволяє судити про їх значущість, а кореляційний аналіз - виявляти значущі зв'язки між ними.

Метод репертуарних ґраток має слабе місце: припущення про те, що людина може точно описати конструкти, які вона використовує, щоб пояснити, чому порівнювані об'єкти схожі один на одного і чим відрізняються. Процедура виявлення і вербалізації конструктів дуже втомлює експертів, тому у багатьох методиках використовуються готові набори конструктів, що релевантні розглянутим. Ґратки Келлі є вдалим інструментом для виявлення властивостей через набори суб'єктивних параметрів і переваг, але про суб'єктивності формування знань потрібно пам'ятати при їх подальшому використанні.

Відомі програмні засоби для підтримки процесів отримання інформації (знань) з використанням репертуарних ґраток: PLANET [61, 74, 95] AQUINAS [53], ICRITON [57], SIMER+MIR [33].

2.3 Побудова бази інформації (знань) для експертних систем діагностики

Академік О.І. Ларичев розрізняє два типи інформації (знань), що передаються від одного покоління до іншого [22]: декларативна та вміння розв'язування завдань. До декларативної інформації відносять факти, теорії, завдання та інші відомості, які описані в книгах та підручниках, які стосуються різноманітних галузей науки. До другого типу відноситься людське вміння розв'язувати завдання, знаходити відмови в транспортних, виробничих та інших системах. Звісно, що передати вміння значно складніше, ніж отримати знання. Уміння передається від того хто навчає до того хто навчається в результаті тривалого безпосереднього навчання і примножується в подальшому тільки шляхом самоосвіти при вирішенні численних завдань. В результаті навчання навчаючий стає експертом, який має високий рівень професіоналізму в певній предметній області. На рівень знань експерта визначальний вплив мають такі фактори, як час, витрачений на вирішення професійних завдань, якість знань, і природні здібності людини. Наукові дослідження показали [58], що в становленні експерта велику роль відіграють час, витрачений на вправи в процесі всієї його професійної діяльності, а також консультації вчителя (викладача). В пам'яті людини існує так звана робоча пам'ять, яка забезпечує швидкий доступ до довготривалої пам'яті. Така

організація пам'яті сприяє високій ефективності вирішення складних погано формалізованих завдань.

Дослідження, результати яких наведені в роботах [67, 69], показали, що в процесі тривалого вирішення типових завдань в пам'яті експертів формуються особливим чином, організовані ієрархічні структури інформації (знань) у вигляді наборів ознак і правил. За цими ознаками і правилами відбувається групування об'єктів предметної області, що забезпечує зручне зберігання інформації і швидкий доступ до неї. Процес вирішення складних завдань неможливо формалізувати в повному обсязі, оскільки експертні знання мають підсвідомий характер. Проте існують завдання, для яких розроблено підходи до побудови повних, несуперечливих і значних за обсягом баз експертної інформації (знань). Прикладом є завдання, характерні для наступної проблеми: діагностика стану підприємства та транспортних і виробничих систем. Відміною особливістю перерахованих завдань є їх повторюваність. При багаторазовому рішенні подібних завдань фахівці накопичують досвід, який дозволяє їм знаходити ефективні рішення за короткий час. Цей досвід доцільно представити в явній формі і згодом зберігати, примножувати, коригувати та використовувати при вирішенні аналогічних завдань [22, 23].

Щоб застосувати на практиці метод класифікації для побудови баз експертної інформації (знань), необхідно мати повний набір ознак, їх значень і класів можливих рішень. Постановка завдання експертної класифікації полягає в тому, що дано: N – число діагностичних ознак; W_i – число впорядкованих вербальних оцінок якості на шкалі i -ї діагностичної ознаки; $X_i = \{x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{wi}\}$ – множина оцінок на шкалі i -ї ознаки; Q – кількість діагностичних класів (P_1, P_2, \dots, P_Q) , до яких можуть належати об'єкти, що класифікуються; $A = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$ – множина всіх гіпотетично можливих станів, описуваних діагностичними ознаками; $a_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in})$ – стан, що належить множині A , що описується вектором, компонентами якого є значення ознак. На основі інформації (знань) експертів потрібно класифікувати всі вектори a_i віднісши кожен з них до одного або декількох класів рішень. Дана постановка завдання заснована на припущенні, що експерт має всю повноту інформації (знань), і потрібно знайти підхід, що дозволяє їх виявити.

Метод експертної класифікації містить ряд процедур, спрямованих на структурування проблеми і обробку експертної інформації. Результатом структурування проблеми є сукупність ознак, необхідних для повної класифікації об'єктів певного типу, всі можливі значення цих ознак і перелік класів можливих рішень. Для виявлення множини ознак, адекватно представляють стан об'єкта дослідження, застосовується людино-машинна процедура АРІАДНА [30], в якій використані ідеї "діагностичних ігор" Гельфанда [11].

Класифікація станів об'єкта дослідження здійснюється експертом на підставі пред'явлених комп'ютером комбінацій значень діагностичних ознак, що характеризують одним з можливих станів об'єкта. Додатково експерту надається перелік класів рішень, з яких він вибирає свою відповідь. При цьому вдається значно зменшити число запитань, приймаючи гіпотезу про характерні значення діагностичних ознак по відношенню до кожного з класів. Ця гіпотеза означає, що експерт може впорядкувати значення діагностичних ознак для кожного з класів рішень. При цьому впорядкування не залежить від значень інших діагностичних ознак.

Якщо значення діагностичної ознаки X_i знаходяться в такому відношенні характерності для класу $P_i : \langle x_{li}, x_{mi} \rangle \in D_{P_j}$, де D_{P_j} – відношення домінування для класу P_i , то даний запис означає, що для класу P_i значення i -го ознаки є більш характерними, ніж значення x_{mi} . На підставі бінарних відношень характерності для окремих ознак можна побудувати відношення домінування по характеристикам для кожного класу на множині станів (векторів a_i). При цьому $\langle a_i, a_k \rangle \in D_{P_j}$ якщо для кожної ознаки значення відповідного компонента вектора a_{li} характерно по відношенню до класу P_j ніж значення компонента вектора a_{lk} , і хоча б для одного компонента дане значення більш характерно, ніж інші. Використання гіпотези домінування по характерності дозволяє побудувати на множині станів A "конус" домінування по характерності, який допомагає класифікувати групи станів. Наприклад, експерт відніс до класу P_j стан a_i . При цьому значення окремих ознак, які є компонентами вектора a_i , можуть бути не найхарактернішими для класу P_j . Спираючись на гіпотезу про характерності, можна очікувати, що інші стани a_k , описи яких збігаються a_i , за винятком тих діагностичних ознак значення яких не є найхарактернішими для класу P_j , та можуть мати більш характерні для P_j оцінки, також будуть віднесені до класу P_j . У зв'язку з цим одна відповідь експерта в багатьох випадках дозволяє класифікувати групу станів. У будь-якому випадку експертну інформацію необхідно скоригувати. При наявності залежностей між ознаками зазвичай здійснюють об'єднання залежних класів.

Важливе місце в завданнях експертної класифікації відводиться спеціальним алгоритмам, які дозволяють визначити послідовність станів, що представлені експертам в процесі визначення їх приналежності до класів. Існують різні стратегії пред'явлення станів (об'єктів) [10, 23, 24, 46, 94], зокрема, першими можуть пред'являтися більша інформативність стану. Сформована класифікація представляється елементами класів, що розташовані на їх межі. Ці елементи знаходяться на межі двох класів рішень, тобто мають значення ознак, характерні для кількох класів. На основі цих

елементів будуються вирішальні правила експертів, які мають структуру дерева. У корені цього дерева знаходяться найбільш істотні для класу рішень значення ознак, до яких додається сукупність поєднань значень менш важливих ознак.

Технологія формування баз експертної інформації (знань) для завдань класифікації з явними ознаками [22] добре узгоджується з відомими даними психологів, які отримані при дослідженні процесів класифікації об'єктів, описуваних багатьма ознаками. Коли експерту пред'являється черговий об'єкт, який він повинен віднести до відповідного класу рішень, які вирішують і за певними правилами переносяться в його коротко тимчасову пам'ять, де проводиться аналіз об'єкта. Якщо об'єкт не вдається класифікувати за допомогою вирішальних правил, що знаходяться в оперативній пам'яті, то вони замінюються іншими правилами з бази інформації (знань) експерта.

2.4 Проблеми навчання інтелектуальних систем різної природи

Отримання інформації (знань) в першу чергу є процесом навчання систем. Ряд проблем, більшість з яких пов'язаних з розробленими до теперішнього часу системами орієнтовані на відтворення комп'ютером механізмів отримання інформації (знань), що властиві людині. Незважаючи на ряд успіхів у цій галузі, проблема складного евристичного навчання ІС до сих пір не вирішена. З її рішенням ряд дослідників [37, 38] пов'язує надії на те, що навчені комп'ютери зможуть створювати програми і генерувати рішення краще, ніж це вдається людині.

Сенс процесу машинного навчання можна пояснити наступним чином. У процесі повторення однотипних експериментів відбувається модифікація програмної системи, в результаті якої вона демонструє на наступному етапі експериментів результати кращі, ніж раніше.

Формування знань виконується при реалізації двох функцій: зовнішнє отримання інформації та її структурування. Залежно від інтелектуальних здібностей ІВС можливі різні форми отримання інформації (знань) і подання вихідної інформації. Сформовані етапи формування нових знань, навчання ЕС у відповідності до можливостей комп'ютерних систем [38]:

1. Отримання інформації без логічних висновків:
 - введення програм;
 - введення фактичних даних.
2. Отримання інформації (знань) ззовні:
 - отримання готового набору знань, представлених у внутрішньому форматі;
 - отримання інформації (знань) у внутрішньому форматі в режимі діалогу;
 - отримання знань в зовнішньому форматі і їх розуміння.
3. Навчання за прикладами:
 - параметричне навчання;
 - навчання на основі висновків за аналогією;

- індуктивне навчання;
- навчання нейронних мереж.

4. Отримання інформації (знань) на метарівні.

Методи категорії 1 можна назвати навчанням без висновків або механічним запам'ятовуванням. Отримана при цьому інформація використовується для вирішення завдань в тому ж вигляді, в якому надходить в систему. У методах категорії 2 зовнішня інформація надходить в комп'ютерну систему (КС) в формі знань, отже, її можна використовувати в процесі логічного висновку. Прикладом такої інформації є правила, що надходять в ЕС продукційного типу. В ІС необхідно мати функцію перетворення інформації (знань), що надходять в формат, зручний для подальшого використання. Цю функцію виконують редактори знань, які, на відміну від редакторів даних в БД, не тільки коректують інформацію, що надходить, але й виконують перевірку знань, що містяться в БЗ, на наявність конфліктів (протиріч) з новими знаннями.

Якщо інформація (знання) надходять в програмні засоби (ПЗ) в зовнішньому форматі, то крім перетворення і редагування виникає завдання їх розуміння. Такі проблеми характерні для систем з природно-мовний (ПМ) інтерфейсом. Категорія 3 принципово відрізняється від 1 і 2 тим, що ІС набувають знання самостійно, виконуючи збір окремих фактів, їх узагальнення та систематизацію. У процесі вирішення завдань певного класу (прикладів) КС виявляє поняття, вибирає формат їх подання та проводить структурування.

Проблеми розуміння і перетворення інформації (знань) характерні для категорій 2 та 3, причому остання відрізняється наявністю процедур узагальнення, прикладами яких є заміна постійних атрибутів мови (констант) на змінні, виняток описів з обмеженням застосуванням, індукція, абдукція і ін. Способи узагальнення тісно пов'язані з мовою представлення знань в ПЗ.

Параметричне навчання – найпростіша форма в категорії 3. Воно полягає у визначенні загального вигляду правила, яке формує результат виведення, і в подальшій коригуванні назв параметрів, що залежать від конкретних даних. Приклад навчаючої системи такого типу є відома ЕС Meta-Dendral, призначена для побудови структурних формул хімічних сполук на основі даних маспектрального аналізу [37, 50, 96]. У ній виводяться нові правила шляхом корекції вже закладених в БЗ продукції.

Навчання за аналогією базується на гіпотезі про те, що "якщо дві ситуації подібні за кількома ознаками, то вони подібні ще за однією ознакою". Подібність ситуацій розпізнається на основі узагальненої заходи збігу значень найважливіших ознак, за допомогою яких описані ситуації.

Розглянемо індуктивні висновки в логіці, які дозволяють на основі узагальнення окремих фактів отримати загальні, для деякої множини об'єктів, закономірності. В процесі індуктивного навчання є формування нового правила, теорії і структури. Індуктивні висновки можливі в тому випадку, коли уявлення результату частково визначаються на основі вхідної інформації. У дедуктивних висновках діапазон породжуваних уявлень не

може бути ширше діапазону, заданого апіорі. Діапазон уявлень, породжуваних в процесі індуктивного висновку, ширше, ніж діапазон, заданий спочатку.

Нехай P – множина відомих фактів, наявних в БЗ, а H – деяка гіпотеза спрямована на узагальнення цих фактів. Якщо P виводиться з H , то будемо вважати гіпотезу H істинною:

$$\frac{P, H \rightarrow P}{H} \quad (2.5)$$

Розглянемо приклад. Нехай множина P включає факти $P = \{P_1, P_2\}, \{P_1, H\} \rightarrow P_2$, то можна сказати "гіпотеза H істинна, якщо підмножину P_2 множини P можливо вивести з гіпотези H , залишивши підмножину P_1 ".

Припустимо, що підмножини P_1 і P_2 мають вигляд:

$$P_1 = \{\forall X[\text{ДІМ}(X) \rightarrow \text{ЛЮДИНА}(X)]\};$$

$$P_2 = \{\text{ДІМ}(\text{Морозюк}); \text{ДІМ}(\text{Мотляк}); \text{ДІМ}(\text{Надич})\}. \quad (2.6)$$

На підставі нової множини P можна висунути іншу гіпотезу $H_1 : (\forall X)[\text{ДІМ}(\text{ЛЮДИНА}(X)) \rightarrow \text{ДІМ}(X)]$, яка накладає обмеження на область підстановки об'єктів в змінну X , оскільки в даному випадку цей об'єкт повинен бути людиною. При появі об'єкта "Грица" можна вивести факт ДІМ(Грица), але при появі об'єкта "Грица" значенням предиката ЛЮДИНА(Грица) буде "хибною" і, отже, факт ДІМ(Грица) не доведено.

Якщо в множині P додати інформацію про існування людей, які не мають дому, тобто у множині P_1 додати формулу:

$$(\exists X)[\text{ЛЮДИНА}(X) \wedge \neg \text{ДІМ}(X)], \quad (2.7)$$

то при підстановці об'єкта "Грица" не зможемо вивести предикат ДІМ(Грица), оскільки приналежність до роду людського в даному випадку не є достатньою умовою для володіння нерухомістю. Отже, діапазон об'єктів підстановки необхідно зробити ще вужчим. Модифікуємо підмножину P_1 додавши ще одну умову:

$$(\forall X)[\text{ДІМ}(X) \rightarrow \text{ВЛАСНИК}(X)]. \quad (2.8)$$

Висунемо нову гіпотезу H_2 :

$$(\forall X)[\text{ВЛАСНИК}(X) \rightarrow \text{ДІМ}(X)]. \quad (2.9)$$

Тепер намагаємось отримувати правдоподібні висновки, оскільки множина об'єктів для можливих підстановок в наведені формули обмежена людьми-власниками будинків. Традиційний метод узагальнення полягає у

виборі гіпотези мінімального узагальнення серед великого числа можливих гіпотез, в яких об'єкти із заданої множини фактів P_2 замінюються змінною, які розширюють діапазон застосування вихідних логічних формул. Гіпотеза H_2 в розглянутому прикладі є мінімальним узагальненням. Для того щоб формалізувати процес мінімального узагальнення, необхідно мати правила, за допомогою яких можна вибрати ту чи іншу гіпотезу. Щоб побачити, яке з обмежень сильніше ЛЮДИНА(X) або ВЛАСНИК(X), необхідно мати правило виду: $(\forall X)[\text{ВЛАСНИК}(X) \rightarrow \text{ЛЮДИНА}(X)]$. Якщо такі правила сформульовані в системі, то процес заміни констант на змінні не представляє особливих труднощів. Видалення з БЗ фактів, що суперечать установленим правилам, зазвичай не викликає ускладнень. Важкою проблемою є створення нових предикатів, оскільки ця операція не формалізується.

Індуктивний висновок є будовою, що пояснює правила на основі заданих даних. У системах з індуктивними висновками на кожному кроці необхідно пояснювати всі дані, отримані до заданого моменту часу. Дані, отримані на наступних кроках, можуть не задовольняти раніше отриманими поясненням. В цьому випадку слід коригувати отримані раніше правила (гіпотези). Процес індуктивного навчання систем може виявитися досить тривалим, що цілком узгоджується з процесом навчання людини. Для реалізації індуктивного формування висновку необхідно:

- сформулювати сукупність правил - об'єктів формування висновку;
- вибрати формальний спосіб подачі правил;
- визначити спосіб отримання інформації ззовні (демонстрація);
- задати формальний метод підготовка висновку;
- сформулювати критерій правильності формування висновку.

Індуктивні висновки виконуються в процесі нескінченного повторення циклу, що включає процедури запиту вхідних даних, формування гіпотез, отримання та перевірки результатів. В даний час індуктивні висновки часто використовуються для формування пояснюючих гіпотез в системах з правдоподібними міркуваннями абдуктивного типу, в яких можуть бути побудовані різні узагальнення базової теорії, відповідно до спостережуваних фактів.

Розглянемо метод автоматичного формування гіпотез, тобто ДСМ-метод (метод Джон Стюарт Мілль) при формуванні індуктивного висновку. ДСМ-метод був запропонований В.К. Фінном [83]. Насьогодні ДСМ-метод розглядається як оригінальна сукупність логіко-комбінаторних технологій інтелектуального аналізу даних, що використовує формалізовані правила правдоподібних міркувань. Якщо говорить більш детально, то ДСМ-метод виявляє закономірність в даних за допомогою індукції в стилі Д.С. Мілля, породжує правила усунення невизначеності в даних використовуючи фальсифікацію в стилі К. Поппера, формує передбачення за допомогою оригінальної версії міркувань по аналогії оцінює правдоподібність породжених гіпотез за допомогою деякого варіанту абдукції Ч.С. Пірса. Способи встановлення причинно-наслідкових відношень ґрунтуються на ідеях

виявлення подібності та відмінності в спостережуваних ситуаціях. Здатність вловлювати подібність і виділяти відмінності є фундаментальною здатністю в ІС. Спираючись на цю здатність, сформульовано наступні принципи індукції:

1. Принцип єдиної відмінності: у випадку включення якогось фактору проявляється (або після виключення зникає) відоме раніше явище, при тому, що умови залишаються такі самі, що і були раніше, вплив, то зазначений фактор становить причину явища [34]:

$$\begin{aligned}
 A, B, C &\Rightarrow D \\
 A, B, C &\Rightarrow D \\
 \dots \dots \dots & \\
 A, B, C &\Rightarrow D \\
 B, C &\not\Rightarrow D
 \end{aligned}
 \tag{2.10}$$

Знак \Rightarrow трактується як поява D при наявності A, B, C . При достатній кількості експериментів принцип єдиної відмінності дозволяє стверджувати, що A є причиною, а D – наслідком.

2. Принцип єдиної подібності: якщо всі обставини явища, крім однієї, можуть бути відсутніми, не знищуючи цим явища, то ця обставина є причиною даного явища:

$$\begin{aligned}
 A, B, C &\Rightarrow D \\
 A, B, C &\Rightarrow D \\
 \dots \dots \dots & \\
 A, B &\Rightarrow D \\
 A, C &\Rightarrow D \\
 \dots \dots \dots & \\
 A &\Rightarrow D
 \end{aligned}
 \tag{2.11}$$

З цієї схеми випливає, що A і D пов'язані причинно-наслідковим відношенням.

3. Принцип єдиного залишку: у випадку віднімання від певного явища частину, що являється наслідком раніше відомих причин його прояву, в такому випадку залишена частина явища є наслідок решти причин:

$$\begin{aligned}
 A, B, C &\Rightarrow D, E \\
 A, B, C &\Rightarrow D, E \\
 \dots \dots \dots & \\
 B, C &\Rightarrow E
 \end{aligned}
 \tag{2.12}$$

Після того як із прикладів $A, B, C \Rightarrow D, E$ було вираховано причинно-наслідкове відношення $A \Rightarrow D$, то було отримано спостереження $B, C \Rightarrow E$, на підставі яких можна припустити, що B і C є можливими причинами явища E . Для подальшого уточнення потрібно перевірити, чи приводить виключення B до появи E . Якщо так, то причиною явища E служить C , в іншому випадку – B . Можливо також, що явище E обумовлене одночасною наявністю B і C , тобто поява деякого елемента ситуації може визначатися не окремими факторами, а їх сукупністю. Зазначені схеми справедливі лише за умови, що в описі ситуації присутня повна множина спостережуваних фактів і явищ.

Сутність ДСМ-методу полягає в наступному. Нехай задано множину причин $A = \{A_1, A_2, \dots, A_p\}$, множину наслідків $B = \{B_1, B_2, \dots, B_m\}$, і множину оцінок $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_r\}$. Вираз виду $A_i \Rightarrow B_j$ є позитивною гіпотезою, що виражає твердження " A_i є причиною B_j з оцінкою достовірності q_k ".

Негативною гіпотезою є вираз $A_i \not\Rightarrow B_j$, який формулюється так: " A_i не є причиною B_j з оцінкою достовірності q_k ". Позитивні гіпотези будемо позначати $h_{i,j,k}^+$, а негативні – $h_{i,j,k}^-$. Серед сукупності значень виділимо два спеціальних, які можна інтерпретувати як "невірно" (0) і "вірно" (1). Гіпотези з цими значеннями можна розглядати, або істинною ("вірно") або неістинною ("невірно") докази яких чітко доведено. Решта значення між 0 і 1 будемо позначати раціональними числами k/n , де $k = 1, \dots, n-1$.

Узагальнений алгоритм ДСМ-методу включає наступні кроки.

1. На основі вихідних множин позитивних і негативних прикладів (спостережень) формується набір гіпотез, які записуються в матриці M^+ і M^- . Гіпотези формуються на основі виявлення подібності та відмінності в прикладах. Матриці мають вигляд:

$$M^+ = \begin{array}{c|ccc} & B_t & \dots & B_w \\ \hline A_l & h_{ltk}^+ & \dots & h_{lwm}^+ \\ \hline \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hline A_r & h_{rts}^+ & \dots & h_{rtd}^+ \end{array} \quad M^- = \begin{array}{c|ccc} & B_j & \dots & B_v \\ \hline A_x & h_{xjk}^- & \dots & h_{xvt}^- \\ \hline \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hline A_z & h_{zjm}^- & \dots & h_{zvf}^- \end{array} \quad (2.13)$$

2. До вихідної множини прикладів постійно формуються на основі спостережень, що можуть підтвердити гіпотезу, або її спростувати. Переоцінка гіпотез виконується наступним чином: якщо деяка гіпотеза h_{ijk} мала оцінку $q_k = k/n$, то при появі нового прикладу $(n+1)$ проводиться

перевірка на підтвердження цієї гіпотези. У разі позитивної відповіді оцінкою є $q_k = (k+1)/(n+1)$, інакше $q_k = (k-1)/(n+1)$. При накопиченні інформації (знань) оцінки висунутих гіпотез може наближатися до 1 або 0. Зміна оцінок може також мати коливальний характер, що, як правило, приведено до виключення таких гіпотез з множин M^+ або M^- .

3. Циклічне додавання прикладів, що супроводжуються зміною оцінок достовірності гіпотез з періодичною зміною множин M^+ і M^- .

4. Завершення процесу індуктивного висновку при виконанні умов закінчення циклу. В якості таких умов можуть використовуватися заходи близькості значень q_i , q_i до 0 або 1, а також додаткові умови, які можуть бути пов'язані з обмеженням часу (кількості нових прикладів) виведення і т.п.

У сучасних модифікаціях ДСМ-методу використовуються висновки по аналогії, проводиться врахування контексту реалізації причинно-наслідкових відношень, застосовуються нечіткі описи фактів і т.д. [3, 29, 43, 77].

2.5 Засоби комп'ютерної підтримки отримання інформації (множини знань) в інтелектуальних системах

Проблема автоматизованого отримання інформації (множини знань) пов'язана з розробкою спеціальних інформаційних технологій, що забезпечують підтримку процедур отримання і структурування інформації (знань). Підсистема отримання знань служить для введення знань в БЗ і її коригування. Експертні системи заповнювалися знаннями за наступною схемою:

- створення конкретної експертної системи;
- спустошення бази знань;
- розробка системи отримання інформації (множини знань) для нового наповнення БЗ;
- формування бази знань для іншої експертної системи.

На другій стадії з'явилися системи, що засновані на попередньому детальному аналізі предметної області моделях, що дозволяють розглядати процедури отримання, структурування і формалізації знань як процесів перетворення лінгвістичних знань в інші уявлення і структури [11, 98]. Істотний вплив здійснювала психосемантика, на базі якої були створені інструментальні засоби багатовимірного шкалювання, факторного аналізу, репертуарних ґраток, логічного висновку.

Третя стадія розвитку системи отримання знань пов'язана зі створенням автоматизованих засобів придбання знань. При цьому структура БЗ формується в процесі набуття знань, а не заздалегідь.

Множину існуючих і потенційно можливих систем отримання знань можна відобразити класифікацією [11] (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 – Методи і системи отримання знань

Метод отримання знань	Найменування системи, автори	Коротка характеристика
1	2	3
Структуризовані інтерв'ю	RESIAS (Davis R.) [55] ROGET (Bennet J.) [52] SALT (Markus S.) [70] MOLE (Eshelman L.) [59] OPAL (Muzen M.) [71] МЕДИКС (Ларичев О.І.) [10]	Формування нових понять та правил. Призводить концептуальну організацію знань для діагностичних ЕС. Формує базу знань в області конструювання методом покрокового поширення обмежень. Забезпечення контекстного придбання знань на основі структурного інтерв'ю. Забезпечення формування і зростання БЗ експертної системи, яка надає поради. Використання процедури експертної класифікації для незалежних властивостей, ознак та їх значень. Підвищення ефективності експертної класифікації, яка забезпечується за рахунок використання апріорно заданого відношення лінійного порядку на більшість станів
Імітація консультацій	АРИАДНА (Моргоев В.) [30] ЕСКІЗ (Андрієнко Г.) [3]	Реалізація методу багатократного рішення експертом проблеми класифікації в режимі послідовних питань-відповідь, консультації. Включення набору ігор для отримання знань, які являються модифікаціями методу репертуарних ґраток

2.6 Інтелектуальний аналіз наявних інформаційних баз даних про можливості функціонування транспортних і виробничих систем

Важливим напрямком інформаційних систем та їх розвиток на даний час є інтелектуальний аналіз БД. Цей термін є коротким і дуже неточним перекладом з англійської мови термінів Data Mining і Knowledge Discovery in Databases (DM&KDD). Більш точний переклад – "набуття даних" і "виявлення інформації (знань) в базах даних". Поява технологій DM&KDD обумовлено накопиченням величезних обсягів інформації в комп'ютерних базах даних, які стало не вигідно зберігати і якими стало важко користуватися традиційними способами. Остання обставина пов'язана зі стрімким розвитком ПК і програмних засобів для подання та обробки даних. Великі обсяги накопичених даних постійно доводиться модифікувати через швидкі зміни апаратного і програмного забезпечення БД. При цьому неминучі втрати і спотворення інформації. Одним із засобів для подолання подібних труднощів є створення інформаційних архівів даних, доступ до яких не буде сильно залежати від зміни даних у часі і від використовуваного програмного забезпечення. Наступний підхід направлений на стиснення значних обсягів даних за рахунок виявлення певних закономірностей (знань) під час накопичення БД інформацією. Обидва напрямки актуальні з практичної точки зору. Другий підхід більш цікавий для фахівців в області інтелектуальної інформації, пов'язаний з вирішенням проблеми отримання нових знань. Слід зауважити, що найбільш плідним є поєднання обох напрямів.

Наявність архівів даних – необхідна умова успішного проведення всього процесу KDD. Питання організації архівів даних розглядаються в роботах [19, 20, 25, 40, 48]. Архів даних – це предметно-орієнтоване, інтегроване, прив'язане до часу, незмінний збір даних, що використовуються для підтримки процесу прийняття управлінських рішень в ІТС і ІВС. Предметна орієнтація означає, що дані об'єднані в категорії і зберігаються відповідно тим областям, які вони описують, а не у відповідності до додатків, які їх використовують. Даний принцип збереження інформації дає можливість бути впевненим в тому, що різні звіти аналітиків повинні опиратися на одну сукупність інформації. Сучасні засоби адміністрування архівів даних дають можливість ефективно спілкуватися з програмним інструментарієм DM і KDD.

Розглянемо приклад, який ілюструє технологія DM&KDD. У БД можна зберігати велику таблицю значень змінних X і Y , але якщо вдалося встановити залежність між цими змінними, то без істотних втрат інформації можна значно скоротити обсяг займаної пам'яті, помістивши туди знайдену залежність, наприклад $Y = f(kX)$. У загальному випадку залежності, які виявляються в базах даних, можуть бути представлені правилами, гіпотезами, моделями нейронних мереж і т.п. Інтелектуальні засоби отримання інформації дозволяють почерпнути з БД більш глибокі відомості, ніж традиційні системи оперативної обробки транзакцій OO LTP-On-Line Transaction Processing) і оперативної аналітичної обробки (OLAP) [40]. Отримані закономірності і

правила можна застосовувати для опису існуючих відносин і закономірностей, а також для прийняття рішень і прогнозування їх наслідків в ІТС та ІВС.

Отримання інформації (знань) з БД є однією з різновидів машинного навчання, специфіка якої полягає в тому, що реальні БД, як правило, проектуються без урахування потреб вилучення знань і містять помилки [7]. При цьому у технологіях DM&KDD використовуються різні математичні методи і алгоритми: класифікація, кластеризація, регресія, прогнозування часових рядів, асоціація, послідовність.

Класифікація – це інструмент узагальнення. Можливо виконувати перехід від одиничних об'єктів до загальний визначень, що характеризують певний перелік об'єктів та, в свою чергу, дає можливість розпізнавати дані об'єкти. При цьому сутність процесу формування понять полягає в знаходженні закономірностей, властивих класам. Для опису об'єктів використовуються множина різних ознак (атрибутів). Проблема формування понять за ознаки опису була сформульована М.М. Бонгартом [5]. Її рішення базується на застосуванні двох основних процедур: навчання та перевірка. У процедурах навчання будується класифікуюче правило на основі обробки навчальної множини об'єктів. Процедура перевірки (іспиту) полягає у використанні отриманого класифікуючого правила для розпізнавання об'єктів з новою (екзаменаційної) вибірки. Якщо результати перевірки визнані задовільними, то процес навчання закінчується, в іншому випадку класифікуюче правило уточнюється в процесі повторного навчання.

Кластеризація – це розподіл інформації (записів) з БД по групах (кластерах) або сегментам з одночасним визначенням цих груп. При цьому кластеризація відрізняється від класифікації тим, що непотрібно при аналізі БД наперед задавати класи об'єктів. Проведення регресійного аналізу необхідне у випадку, якщо у БД співвідношення властивостями об'єктів задані кількісними оцінками. Сформовані регресійні рівняння дають можливість визначити значення залежних властивостей з значеннями незалежних факторів.

Важливим є прогнозування часового ряду, що являється методом визначення тренду властивостей досліджуваних об'єктів в часі. А тому аналізуючи часові ряди можливо з певною ймовірністю визначати значення досліджуваних властивостей, в певний проміжок часу. Асоціація дозволяє виділити стійкі групи об'єктів, між якими є неявно задані зв'язки. Певна частота виявлення окремих об'єктів чи групи об'єктів, що має відображення у відсотках має назву поширеності. Незначний рівень поширеності ($<0,001$) стверджує, що асоціація незначна. Асоціації записуються у вигляді правил: $A \Rightarrow B$, де A – посилка, B – наслідок. Для визначення важливості кожного отриманого асоціативного правила необхідно обчислити довірливість A до B (або взаємозв'язок A і B). Конфіденційність $\delta(A/B)$ показує, як часто при появі A з'являється B , і розраховується як $\delta(A/B) = \varepsilon(A \cap B) / \varepsilon(A)$, де $\varepsilon(A \cap B)$ – поширеність спільного появи A та B ; $\varepsilon(A)$ – поширеність A .

Необхідно відзначити, що якщо $\varepsilon(A) \neq \varepsilon(B)$, то $\delta(A/B) \neq \delta(B/A)$. Важливою характеристикою асоціації є потужність, яка розраховується за формулою $M(A/B) = \delta(A/B) / \varepsilon(B)$. Чим більша потужність, тим сильніший вплив, який наявність A здійснює на появу B .

Послідовність - це метод виявлення асоціацій в часі. В даному випадку визначаються правила, які описують послідовну появу певних груп подій. Такі правила необхідні для побудови сценаріїв. Крім того, їх можливо використовувати, наприклад, для формування типового набору попередніх продаж, які можуть спричинити за собою наступний продаж конкретного товару.

До інтелектуальних засобів DM&KDD відносяться: нейронні мережі, дерева рішень, індуктивні висновки, методи міркування за аналогією, нечіткі логічні висновки, генетичні алгоритми, алгоритми визначення асоціацій і послідовностей, аналіз з вибірковою дією, логічна регресія, еволюційне програмування, візуалізація даних. Іноді перераховані методи застосовуються в різних комбінаціях.

Нейронні мережі відносяться до адаптивних нелінійних систем, що копіює біологічну архітектуру нейронів та нервових тканин. Математична модель нейрона є універсальним нелінійним елементом, що допускає можливість зміни і налаштування його характеристик. Нейронні мережі широко застосовуються для вирішення завдань класифікації. Сформовану мережу на початку необхідно навчити на знаннях для яких відомі значення вхідних та вихідних результатів. Процес навчання мережі полягає в підборі питомої ваги міжнейронних зв'язків та модифікації внутрішніх параметрів активаційної функції нейронів. Нейронна мережа, що навчена може класифікувати визначати нові об'єкти, але правила за якими здійснюється класифікація невідомі користувачам.

Метод дерева рішень дає можливість структурувати завдання у формі деревовидного графу. Вершини даного графу характеризують продукційним правилам, які дають можливість виконувати класифікацію даних чи виконувати аналіз рішень певних завдань з допомогою ІС. Даний метод більш наочно представляє систему класифікаційних правил. На складні завдання вирішуються з допомогою даного методу дуже швидко в порівнянні з нейронними мережами, але для певних типів даних та складних завдань метод дерев є неприйнятним. Крім того, для цього методу характерна проблема значущості. Для ієрархічної кластеризації інформації (даних) є певний недолік, відсутність необхідна кількість навчальних даних (прикладів), а тому деяка кількість класифікації не можна вважати адекватною та надійною. Методи дерев рішень реалізовані в багатьох програмних засобах: C5.0 (RuleQuest, Австралія), Clementine (Integral Solutions, Великобританія), SIPINA (University of Lyon, Франція), IBIS (Information Discovery, США).

Індуктивні висновки дозволяють отримати узагальнення фактів, що зберігаються в БД. Підчас даного навчання необхідно підключати до участі спеціалістів, що висуває гіпотези. Такий спосіб називають навчанням з

учителем. Виявлення узагальнюючих правил виконується без спеціаліста (вчителя) за допомогою генерування гіпотез в автоматичному режимі. На даний час в програмному середовищі зазвичай використовується комбінація даних способів, але гіпотези перевіряється за допомогою статистичних методів. Застосування індуктивних висновків здійснено в XpertRule Miner, розроблена фірмою Attar Software Ltd. (Великобританія).

На основі аналогічних випадків (Case-based reasoning-CBR) наведено на пошук в БД ситуацій, опис яких подібний за низкою ознак в заданій ситуації. За принципом аналогії можливо припустити, якщо ситуації схожі, то і їх результати також будуть дуже близькі. Недолік цього підходу полягає у тому, що тут не створюється будь-яких моделей або правил, але узагальнення попереднього досвіду. Крім того, надійність виведених результатів залежить від повноти опису ситуацій, як і в процесах індуктивного висновку. В CBR використовують системи: KATE Tools (Acknosoft, Франція), Pattern Recognition Workbench (Unica, США).

Методи нечіткої логіки використовуються для аналізу та обробки даних з нечіткою вираженою істинністю, але данна істинність може бути представлена у вигляді набору лінгвістичних змінних. Нечітке уявлення знань широко застосовується в системах з логічними висновками (дедуктивними, індуктивними, абдуктивними) для вирішення завдань класифікації та прогнозування, наприклад, в системі XpertRule Miner (Attar Software Ltd., Великобританія), а також в ASS і NeuFuz і ін.

Генетичні алгоритми входять до інструментарію DM & KDD як потужний засіб вирішення комбінаторних і оптимізаційних завдань. Вони часто застосовуються в поєднанні з нейронними мережами. У завданнях формування знань застосування генетичних алгоритмів пов'язане зі складністю оцінки статистичної значущості отриманих рішень і з труднощами побудови критеріїв відбору вдалих рішень. Представником пакетів з цієї категорії є GeneHunter фірми Ward Systems Group. Генетичні алгоритми використовуються також в пакеті XpertRule Miner і ін.

Для визначення ймовірності появи певного значення дискретної змінної використовується логістична регресія. Дискретна змінна, що є залежною, не піддається моделюванню та визначенню залежності з допомогою методики багатofакторного регресійного аналізу. В такому випадку, можливо отримати ймовірність певного результату за допомогою функції вхідних факторів на залежну змінну, що в подальшому підлягає аналізу. Отримані ймовірності можуть використовуватися і для оцінки шансів. Логістична регресія дає можливість математичного апарату за допомогою якого оцінюється ступінь впливу вхідних факторів на результуючу функцію. Даний математичний інструмент формується на основі класифікації, що можна використовувати для прогнозування значень категоріальних даних.

Еволюційне програмування – найновіший і найбільш перспективний метод DM & KDD. Його сутність заключається у висуванні комп'ютерною системою гіпотези про форми залежності функцій від факторів при

використанні процеси на деяку внутрішньому програмному середовищі. Якщо це універсальна мова, то теоретично метод здатний формувати залежності довільної форми. Процес побудови таких програм організований як еволюція в програмах. Якщо система знайшла програму, в такому випадку максимально точно формує необхідну (шукану) залежність, а також поступово вносить певні модифікації і проводить відбір між сформованими дочірніми програмами, що найточніше формують потрібний результат. Наступний етап переводить отримані залежності (результат) з внутрішньої мови комп'ютерної системи на доступну для користувача, що може бути представлена у вигляді математичних залежностей табличних даних, графіків і т.п. При цьому активно використовуються засоби візуалізації. Методи еволюційного програмування реалізовані в системі PolyAnalyst (Unica, США).

На даний час в процесах DM та KDD зазвичай застосовуються різні комбінації розглянутих методів. Програмний продукт фірми SAS Enterprise Miner 3.0, що має автоматизовані модулі для формування остаточної гібридної моделі, яка визначається на множині функцій, що попередньо сформовані різнорідними методами: нейронні мережі, багатофакторна регресія, дерево рішення. Програмна система Darwin, розроблена компанією Thinking Machines, дозволяє не тільки будувати моделі на основі нейронних мереж або дерев рішень, але також використовувати візуалізацію і системи міркувань за аналогією. Крім того, цей продукт містить своєрідний генетичний алгоритм для оптимізації моделей. Активно працює в області інтелектуального аналізу бази даних компанія IBM. Багато з отриманих в її лабораторіях результатів знайшли застосування в інструментальних пакетах, які можна віднести до чотирьох з п'яти стандартних типів додатків глибокої переробки інформації: класифікації, кластеризації, виявлення послідовностей і асоціації.

В даний час на ринку представлені різноманітні програмні засоби, що реалізують технології DM&KDD. Слід зазначити, що більшість з них має дуже високу вартість. Розглянемо деякі відомі пакети. Інструментальні методи та засоби, які використовуються для формування прикладних додатків для ІТС, ІВС, а також бізнесу, значно привернули увагу спеціалістів програмна реалізація Business Intelligence (BI) фірми залежні системи, які доповнюють одна одну системи: Impromptu, PowerPlay, Scenario і 4Thought. Відмітною особливістю розглянутих засобів є поєднання ефективності реалізованих в них методів з інтерфейсом, що робить їх легкодоступними для освоєння користувачами, що є програмістами [48].

Система Impromptu забезпечує доступ до баз даних, дозволяючи непрофесійному користувачеві формувати різноманітні запити і звіти. Система підтримує роботу з поширеними типами СУБД: Oracle, MS SQL Server, Sybase SQL Server, Sybase NetGateway, OmniSQL Gateway, MDIDB2 Gateway, Informix, CA-Ingres, Gupta SQLBase, а також забезпечує доступ через ODBC. Звіти Impromptu можуть використовуватися в якості джерел даних для інших систем сімейства BI, виступаючи при цьому в ролі інформаційних вітрин.

Система PowerPlay є засобом для проведення OLAP- аналізу. Такий аналіз дає можливість значно збільшити ефективність та продуктивність роботи з інформацією БД за реляційною моделлю, в якій дані представляються у багатовимірному просторі, що можна описати як гіперкуб; інформація має прив'язку до часового простору, що створює умови до динамічного аналізу наявних даних; складної обчислювальної обробки великих масивів даних [54].

PowerPlay забезпечує багатовимірний перегляд даних з низхідним і рівневим аналізом, в процесі якого існує можливість виявлення винятків і особливих випадків, ранжирування і різноманітної обробки даних. Гіперкуби інформації мають необмежену розмірність і можуть створюватися як на серверах, так і на клієнтських комп'ютерах. Деякі версії програмного продукту PowerPlay дають можливість функціонування з гіперкубами за допомогою web-браузерів.

Система Scenario призначена для виявлення взаємозв'язків даних статистичними методами, зокрема за критерієм Пірсона для знаходження однорідних сегментів даних з аналогічною поведінкою щодо цільового показника. Крім того, в системі використовується метод дерев рішень для побудови класифікацій. Результати обробки даних наочно відображаються засобами візуалізації. В ІС реалізовані наступні види аналізу даних:

- ранжування факторів за ступенем їх впливу на цільовий показник, коли з кожним фактором пов'язується ваговий коефіцієнт, що дає кількісну оцінку ступеня впливу;
- сегментація - розподіл області значень фактора на сегменти для проведення подальшого низхідного аналізу;
- профілювання кращих зразків - виявлення основних характеристик найбільш успішних результатів (регіонів, філій, клієнтів і т.д.);
- виявлення асоціацій - пошук асоційованих груп значень факторів;
- виявлення винятків - пошук елементів, що випадають із загальної картини.

Виявлення подібних елементів приведено помилками в БД, що необхідно усунути так само, як і ситуації підчас функціонування бізнес компанії, яка постійно потребує рішень та дій від її керівного складу.

В системі Scenario реалізовані три стратегії аналізу режимів:

- дослідження, призначений для попереднього аналізу завдання;
- тестування, орієнтований на високу точність і надійність результатів;
- верифікації, що дозволяє проводити оцінку достовірності і значущості отриманих знань.

Система 4Thought здійснює вилучення знань з БД із застосуванням нейронних мереж, надаючи такі можливості:

- моделювання складних нелінійних залежностей між факторами і цільовими показниками;
- виявлення тенденцій в базі даних (при наявності тимчасових рядів);
- робота з неповними і зашумленими даними при відносно невеликому обсязі вихідної інформації.

Дані, які аналізуються, подають у вигляді електронної таблиці, стовпцями якої відповідають атрибути з таблиць бази даних, а рядках – записи. Під час підготовки інформації, даних до наступного аналізу користувач має можливість корегувати таблиці та додатково включати розрахункові стовбці. Так само, як і в програмному пакеті Scenario при постановці завдань моделювання даних необхідно вказати модельовану (функціональну) властивість та регулюючі фактори. Дані в таблиці розглядаються системою, як приклади для навчання нейронної мережі. Сукупність усіх даних розбивається на дві підмножини - модельну і тестову. У кожному циклі навчання мережа спочатку навчається на модельній підмножині, а потім перевіряється коректність її роботи на тестових даних. Навчання мережі проводиться до тих пір, поки точність результатів, отриманих на модельному і на тестовому підмножинах, зростає. При роботі з невеликими обсягами даних, коли вибір тестової підмножини істотно впливає на результати навчання, користувач може проводити навчання послідовними циклами, вибираючи для кожного циклу нове розбиття на тестові та модельні дані.

Застосування технологій DM & KDD має великі перспективи, тому що вони істотно впливають на збільшення доходів підприємства, фірми, компанії, в т.ч. транспортні і виробничі, шляхом вибору правильних стратегій діяльності. Лідуючі позиції використання технологічних рішень з інтелектуального аналізу інформації, даних являються телекомунікаційні фірми, а також фірми з випуску кредитних карток. Засоби DM & KDD активно застосовують страхові компанії і фондові біржі.

До типових завдань DM & KDD можна віднести [19, 48, 88]: прогнозування; маркетинговий аналіз; аналіз роботи персоналу; аналіз ефективності продажу товарів поштою; профілювання клієнтів; оцінка потенційних клієнтів; аналіз роботи регіональних відділень компанії; порівняльний аналіз конкуруючих фірм та ін.

Перераховані завдання є актуальними практично для всіх галузей бізнесу, транспортних і виробничих підприємств.

Висновки по розділу 2

1. Сформульовано стратегії отримання інформаційної бази знань в інтелектуальних системах. Розглянуто процес отримання інформації безпосередньо від експертів з використанням методів когнетології, з участю кваліфікованого аналітика. Зазначено, що експерти і аналітики мають сукупність когнітивних характеристик. Виявлено яким методом і математичним алгоритмом повинні володіти аналітики і експерти при побудові, функціонуванні і удосконаленні інтелектуальних систем. Виділено три основних аспекти отримання інформації: психологічний, лінгвістичний, гносеологічний.

2. Визначено, що основними критеріями якості нових знань в інтелектуальних системах є наступні: внутрішня їх узгодженість, системність,

об'єктивність, історизм. Виявлено, що процес пізнання інтелектуальних систем має чотири етапи, а найбільш відомими проблемами є: математична логіка, теорія асоціацій і гештальт-психологія. Зазначено, що в даний час для структурування інформації використовується структурний і об'єктивний підходи. Дано стратифікацію інформації про предметну область інтелектуальних систем та семіотичний підхід до моделювання інформації та схему у вигляді трикутника Фреге.

3. Проведено класифікацію методів отримання інформації (множини знань) експертами в інтелектуальних системах. Зазначимо класи і рівні цих методів. Це комунікативні і текстологічні методи, пасивні і активні методи та деяка їх порівняльна характеристика. Визначено три типи моделей за психологічними характеристиками: мислитель, співрозмовник, практик. Предметні області інтелектуальних систем відрізняються рівнем документованості і структурованості, які поділяються на класи.

4. Дана порівняльна характеристика тих методів в отримання інформації (множини знань) як анкетування, інтерв'ювання та вільний діалог, а також таких активних групових методів отримання знань: "мозковий штурм", дискусія за круглим столом, експертні ігри, експертні системи. Розглянуті отримання інформації з текстів, розроблено алгоритм отримання інформації (знання) та алгоритм побудови семантичного простору.

5. Запропоновано метафоричний підхід орієнтований на виявлення прихованих складових практичного досвіду експерта та метод репертуарних ґраток. Показано, що для виявлення конструктивів використовуються методи: послідовний, мінімального контексту, самоідентифікації, рольова персоніфікація, мета-аналізу репертуарних ґраток і кластерного аналізу.

6. З'ясовано два типи інформації (знань), що передаються від одного покоління до іншого: декларативне та вміння розв'язувати завдання. Відмітною особливістю діагностики стану підприємств та транспортних і виробничих систем є повторюваність завдань. Розглянуто метод експертної класифікації станів інтелектуальних систем, спеціальні алгоритми, які дозволяють визначити послідовність станів. Зазначено, що технологія формування баз експертної інформації (множини знань) для завдань класифікації з явними ознаками, добре узгоджується з відомими даними психологів.

7. Визначено, що отримання інформації (множини знань) – є процесом навчання інтелектуальних систем, але проблема їх евристичного навчання до сих пір не вирішено. Запропоновано класифікацію етапів навчання: отримання інформації без логічних висновків, отримання інформації (знань) ззовні, навчання за прикладами, отримується інформація. Розглянуто процес індуктивного виведення та ДСМ-метод при формування індуктивного висновку. Дано узагальнений алгоритм ДСМ-метод, який включає чотири кроки.

8. З'ясовано схему заповнювання знаннями, виходячи з експертних систем. Розглянуто множину методів формування знань та систем і дана їм

коротка характеристика, виділено три стадії розвитку систем отримання інформації (множини знань).

9. Інтелектуальний аналіз даних представлено, як один з нових напрямків інтелектуальної інформації. Розглянуто технології DM і KDD, в яких використовуються різні математичні методи і алгоритми: класифікація, кластеризація, регресія, прогнозування часових рядів, асоціація, послідовність. До інтелектуальних засобів технології DM і KDD відносяться нейронні мережі, дерева рішень, індуктивні висновки, методи міркування за аналогією, нечіткі логічні висновки, генетичні алгоритми, алгоритм визначення асоціацій і послідовностей, аналіз з вибірковою дією, логічна регресія, еволюційне програмування і візуалізація даних.

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ І ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМАХ

3.1 Відмінність бази знань від бази даних в інтелектуальних системах

Необхідною частиною будь-якої інтелектуальної системи є інформація або база знань. Теоретичними та практичними питаннями представлення й обробки інформації (знань) за допомогою інформаційних технологій активно займаються дослідники, що працюють в аналітичній області [1]. В той час велика частина знань в конкретній предметній області ІТС та ІТВ залишається особистою власністю експерта, який знає набагато більше, ніж сам усвідомлює. Даний напрямок штучного інтелекту пов'язано з розвитком теоретичних і прикладних аспектів формування і формалізації знань фахівців з проектуванням і розробкою баз знань.

Характерною ознакою ІС є наявність інформації (знань), необхідних для вирішення завдань конкретної предметної області. При цьому дані є інформацією фактичного характеру, що описують об'єкти, процеси і явища предметної області, а також їх властивості. Обробка інформаційних даних з використанням технологій характеризується основними темпами:

- вихідна форма подання даних (результати спостережень і вимірів, таблиці, довідники, діаграми, графіки і т.д.);
- подання інформаційних даних на певних умовах, виходячи з запиту та їх опису користувачем, що в подальшому дає змогу вводити та обробляти вихідні данні на ПК;
- подання бази даних на машинних носіях інформації.

Визначено, що знання є більш складною категорією інформації у порівнянні з даними. Інформація (знання) описують не тільки окремі факти, але і взаємозв'язки між ними. Знання іноді називають структурованими даними. Знання можуть бути отримані на основі обробки емпіричних даних, являти собою результат розумової діяльності людини, спрямованої на узагальнення досвіду, отриманого в результаті практичної діяльності.

Для того щоб наділити ІС знаннями, їх необхідно представити в певній формі. Існують два основні способи формування знань про ІС. Перший спосіб – це впровадження знання в програму, написану на звичайній мові програмування. Дана система представляється одним програмним середовищем, що не виносить знання в його окремий клас або групу. Незважаючи на те що основне завдання буде вирішене, важко оцінити роль знань і зрозуміти, яким чином вони використовуються в процесі вирішення завдань. В цьому випадку виникає важкість модернізації та підтримки аналогічних програм, а також можливість поповнення знань стає вкрай важкою задачею.

Другий спосіб реалізується згідно концепції баз даних і полягає у винесенні знань в окрему категорію, тобто знання представляються в певному

форматі і поміщаються в БЗ, яка легко поповнюється і модифікується. БЗ є автономною частиною ІС, хоча механізм логічного висновку, який реалізовано в логічному блоці, а також засоби ведення діалогу накладають певні обмеження на структуру БЗ і операції з нею. В сучасних ІС прийнятий саме цей спосіб.

Слід зауважити, що для того, щоб розмістити знання в комп'ютері, їх необхідно представити певними структурами даних, відповідних вибраному середовищі розробки. При розробці ІС спочатку здійснюються накопичення і представлення знань, а потім вони представляються певними структурами даних, зручними для зберігання і обробки ПК. На цьому етапі обов'язкова участь людини. Знання в ІС існують в наступних формах:

- сформовані знання у вигляді: правил (з досвіду); математичні закономірності, які описують зв'язок між факторами та результатами; трендові залежності відображають зв'язок результату з часом, різні функції, діаграми, графи і т.д.;
- опис вихідних знань засобами обраної моделі подання знань: множина логічних формул або продукційних правил, семантична мережа, ієрархії фреймів і т.п.;
- уявлення знань структурами даних, які призначені для зберігання і обробки в ПК;
- бази знань на машинних носіях інформації.

Дослідниками в галузі ШІ даються більш конкретні визначення знань. Знання – це структурована інформація (аксіоми, теореми, закони, підходи, принципи, взаємозв'язки і т.д.), яку отримують під час певної діяльності, що потім дає можливість розв'язувати прикладні завдання в певному напрямку [2]. Знання є формалізованою інформацією, на яку посилаються або використовують в процесі логічного висновку [3].

Існує ціла сукупність класифікацій знань. За допомогою методів класифікування виконують систематизацію інформації для формування знань різних прикладних областей. На абстрактному рівні розгляду можна говорити про ознаки, за якими поділяються знання. За суттю знання поділяють на декларативні (факторно-описові) та процедурні (дієво-описові). Декларативними знаннями можна назвати структуровану інформацію, яка описує структуровану інформацію яка описує факти, явища, зв'язки, де дані факти і явища мають вплив або наявні, описують їх закономірності. Процедурні знання – це описи дій, які можливі при маніпулюванні фактами і явищами для досягнення намічених цілей. Для опису знань на абстрактному рівні розроблені спеціальні метамови – мови опису знань, які в свою чергу поділяються на мови процедурного типу і декларативного. Всі мови опису, що поділяє знання, орієнтовані на використання ПК фоннеймановської архітектури, є мовами процедурного типу. Розробка метамов декларативного типу, зручних для представлення знань, є вельми актуальною.

За способом отримання знання можна поділити на факти і евристику правил, які дозволяють зробити вибір при відсутності точних теоретичних обґрунтувань. Перша група знань описує обставини, що в достатній мірі відомі

групі експертів в досліджуваній прикладній області. Друга група знань ґрунтується на особистій практиці експерта, що довгий період працював в дослідній прикладній області. Знання типу "Факти" мають наступну загальну форму "А – це А", дані знання притаманні в основному для БД та мережових моделей. Тип знань "Правило" мають форму "ЯКЩО А, ТО В" в основному реалізуються прикладним програмним продуктом.

Додатковим типом знань – є "метазнання", що вимагають в себе інформацію (знання) про певний вид знань. Такі знання вкрай необхідні для керування БД, а також виконання прикладних завдань автоматичного та процедурно-логічного формування висновку.

Форма подання знань має суттєвий вплив на характеристики ІС. В ІС потрібно чітко розділити знання на ті, які призначені для обробки на ПК, і знання, які використовуються людиною. При вирішенні складних завдань БЗ повинна мати досить великий обсяг, в зв'язку з чим неминуче виникають проблеми управління такою базою. Вибираючи модель подання знань враховують такі фактори, як однорідність їх подання і простота розуміння. Однорідність подання призводить до спрощення механізму управління знаннями. Якщо форма представлення знань буде важкою для розуміння, то ускладнюються процеси отримання та інтерпретації знань. Слід зауважити, що одночасно реалізувати ці вимоги досить складно, особливо в великих системах, де неминучим стає структурування і модульне подання знань.

3.2 Типові моделі представлення інформації в інтелектуальних системах

До типових моделей представлення знань відносяться: логічна, продукційна, фреймова і модель семантичної мережі. Кожній із зазначених моделей відповідає своя мова подання знань [4]. В практичних рішеннях прикладних завдань використовують комбінації зазначених моделей під час формування ІС, а тому створення знання є складним завданням. Насамперед це комбіноване представлення знань за допомогою різних моделей. Використовуються і спеціальні засоби, які дають змогу відобразити особливості конкретних знань предметних областей ІТС і ІВС. Існують різні способи усунення і врахування нечіткості і неповноти знань [5].

3.2.1 Логічна модель представлення інформації в інтелектуальних системах.

Логічна модель ІС заснована на обчисленнях предикатів першого порядку. Логіка предикатів починає розглядатися при обчисленнях висловлювань. Висловлювання – це пропозиція, сенс якої можна висловити значеннями: істина (Т) або неістина (F). Складну систему висловлень формують за допомогою простих логічних зв'язків: І, АБО, НІ, ЯКЩО-ТО. Елементарними є висловлювання, які не можна розділити на частини. Логіка висловлювань оперує логічними зв'язками між висловлюваннями, вирішує питання: "Чи можна на основі висловлювання А отримати висловлювання

В?"; "Істинно В при істинності А?" і т.п. Характерним є те, що при цьому семантика висловлювань не має значення. Елементарні висловлювання розглядаються як змінні логічного типу, над якими дозволені наступні логічні операції: \neg заперечення (унарна операція); \wedge кон'юнкція (логічне множення); \vee диз'юнкція (логічне додавання); \rightarrow імплікація (якщо-то); \leftrightarrow еквівалентність.

Операція імплікації повинна відповідати сукупності вимог:

1. Значення результату імплікації залежить від двох операндів.
2. Якщо перший операнд (А) – істинний, то значення результату таке саме, як другого операнда (В).
3. Операція імплікації некоммутативна.
4. Результат імплікації збігається з результатом виразу $\neg A \vee B$.

Отримані результати логічних операцій над змінними А і В, які є елементарними висловлюваннями, наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку логічних операцій, які існують в природних мовах інтелектуальних транспортних і виробничих систем.

A	$\neg A$	B	$A \wedge B$	$A \vee B$	$A \rightarrow B$	$A \leftrightarrow B$
T	F	T	T	T	T	T
T	F	F	F	T	F	F
F	T	T	F	T	T	F
F	T	F	F	F	T	T

Основними синтаксичними одиницями логіки предикатів є: константи, змінні, функції, предикати, квантори і логічні оператори. Синтаксис розрахунку предикатів можна сформулювати в простому вигляді Бекуса-Наури, що використовують в граматиках формування:

$$\begin{aligned}
 &\langle \text{константа} \rangle \rightarrow \langle \text{ідентифікатор1} \rangle \\
 &\langle \text{змінна} \rangle \rightarrow \langle \text{ідентифікатор2} \rangle \\
 &\langle \text{функція} \rangle \rightarrow \langle \text{ідентифікатор3} \rangle \\
 &\langle \text{предикат} \rangle \rightarrow \langle \text{ідентифікатор4} \rangle \\
 &\langle \text{терм} \rangle \rightarrow \langle \text{константа} \rangle | \langle \text{змінна} \rangle | \\
 &| \langle \text{функція} \rangle (\langle \text{список термів} \rangle) \\
 &\langle \text{список термів} \rangle \rightarrow \langle \text{терм} \rangle | \langle \text{терм} \rangle , \langle \text{список термів} \rangle \\
 &\langle \text{атом} \rangle \rightarrow \langle \text{предикат} \rangle | \langle \text{предикат} \rangle (\langle \text{список термів} \rangle) \\
 &\langle \text{літера} \rangle \rightarrow \langle \text{атом} \rangle | \neg \langle \text{атом} \rangle \\
 &\langle \text{оператор} \rangle \rightarrow \wedge | \vee | \rightarrow | \leftrightarrow \\
 &\langle \text{список змінних} \rangle \rightarrow \langle \text{змінна} \rangle | \langle \text{змінна} \rangle , \\
 &\quad \langle \text{список змінних} \rangle \\
 &\langle \text{квантор} \rangle \rightarrow \langle (\exists \langle \text{список змінних} \rangle) \rangle | \\
 &\quad \langle (\forall \langle \text{список змінних} \rangle) \rangle \\
 &\langle \text{формула} \rangle \rightarrow \langle \text{літера} \rangle | \neg \langle \text{формула} \rangle | \langle \text{квантор} \rangle (\langle \text{формула} \rangle) \\
 &\quad (\langle \text{формула} \rangle) \langle \text{оператор} \rangle (\langle \text{формула} \rangle)
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

В даному записі будь-яке ім'я в кутових дужках являє собою тип синтаксичного об'єкта. Визначення кожного типу починається з появи його імені в лівій частині кожного запису, тобто зліва від знака. У правій частині кожного запису наводяться можливі способи організації синтаксично коректних об'єктів визначеного типу. Альтернативні варіанти розділені знаком I, який можна інтерпретувати як АБО. Але міру ідентифікаторів слід трактувати в тому сенсі, що ідентифікатори, використовувані для позначення об'єктів різних типів, повинні бути помітними. Наприклад, константи позначаються іменами <ідентифікатор 1>, які формуються з малих літер, причому першим символом повинен бути один з наступних: a, b, c, d, e, k, /, m, n, x, y, z, v, w, u. Імена змінних <ідентифікатор2> повинні починатися, наприклад, з великої літери. Ідентифікатори функцій <ідентифікатор3> складаються з малих літер, при цьому першою є j, g, h, p або d. Імена предикатів <ідентифікатор4> повинні складатися з великих літер. Функції, як і предикати, задають деякий зв'язок між змінними або константами. Але це зв'язок відносний не характеризується істинностним значенням. За допомогою функції можна представити складний об'єкт, наприклад, функція fbook (Author, Tytle, Publisher, Year) представляє набір інформації. Предикат і функція відрізняються також на синтаксичному рівні, а саме: функції можуть бути аргументами предикатів (тобто термами), а предикати - цього немає. Слід зауважити, що в логіці предикатів вищих порядків в порівнянні з першим аргументами предикатів можуть бути інші предикати. Функції з нульовим числом місць (аргументів) є аналогами констант. Предикат без аргументів відповідає висловлюванню [7-9].

Квантори в логіці предикатів необхідні для визначення області дії змінних. Крім квантора спільності в логіці предикатів є квантор існування: $\exists X$ - "існує хоча б один такий X, що ..." або "знайдеться хоча б один X, такий, що ...".

Змінні, що знаходяться в сфері дії кванторів є зв'язаними, а інші змінні в логічних формулах - вільними. Про істинність будь-якого твердження без підстановки значень у змінні, можна казати, якщо всі вхідні в нього змінні є зв'язані. Якщо в логічну формулу входить кілька кванторів, необхідно враховувати їх взаємне розташування.

В одній логічній формулі не допускається застосування різних кванторів до однієї змінної, наприклад вираз $(X)(\forall X)P(X)$ є неприпустимим. Заперечення кванторних виразів виконується відповідно до наступних правил:

$$\begin{aligned} \neg(\exists X)P(X) &= (\forall X)\neg P(X), \\ \neg(\forall X)P(X) &= (\exists X)\neg P(X). \end{aligned} \quad (3.2)$$

Справедливість наведених виразів впливає зі змісту кванторів. Ці співвідношення дозволяють будь-яку формулу в логіці предикатів представити у вигляді попередження нормальної форми (ПНФ), в якій спочатку виписуються всі квантори, а потім - предикатний вираз: $(\forall X)(\forall Y)(\exists Z)(P(X)\wedge Q(Y,Z)\wedge W)$.

У логіці предикатів першого порядку не дозволяється застосування кванторів до предикатів. Зазначимо, що більш високі порядки це дозволяють. Формула, в якій всі змінні зв'язані є пропозицією. Кожній пропозиції можна поставити у відповідність певне значення – "істина" або "неістина".

Розглянемо приклад: нехай $f(X)$ – функція, що задає відношення "батько"; $P(X)$ – предикат, що задає відношення "людина". Тоді логічна формула $(\forall X)(P(f\{X\}) \rightarrow P(X))$ буде інтерпретуватися так: Всі істоти, батьком яких є людина, – люди. Операції в логіці предикатів мають неоднакові пріоритети. Найвищий пріоритет має квантор спільності, найнижчий – операція еквівалентності.

$$\frac{\forall, \exists, \neg, \wedge, \vee, \rightarrow, \leftrightarrow}{\rightarrow} . \quad (3.3)$$

Спадання пріоритету

Складні формули в логіці предикатів отримуються шляхом комбінування атомарних формул за допомогою логічних операцій. Такі формули є правильно побудованими логічними формулами (ППЛФ). Інтерпретація ППЛФ можлива тільки з урахуванням конкретної області інтерпретації, яка представляє собою множину всіх можливих значень термів, що входять в ППЛФ. Для представлення знань конкретної предметної області ІТС і ІВС у вигляді ППЛФ необхідно перш за все встановити область інтерпретації (світ Хербранда), тобто вибрати константи, які визначають об'єкти в даній області, а також функції та предикати, які визначають залежність та відношення між об'єктами. Потім можливо формувати логічні вирази, які дають змогу описати деякі залежності досліджуваної області [10].

Представити знання у формі логічних моделей ускладнено у випадку, якщо важко виконати опис або вибір констант, групи проєдикатів, потрібних функцій. Це також стосується умов, коли для опису цих знань не вистачає можливостей представлення за допомогою ППЛФ, тобто коли знання є неповними, ненадійними, нечіткими і т.д. Логічна модель застосовується в основному в дослідницьких системах, оскільки пред'являє дуже високі вимоги до якості і повноти знань предметної області, але корисним є її використання в ІТС і ІВС.

3.2.2 Продукційна модель представлення інформації в інтелектуальних системах.

Продукційні моделі набрали широке розповсюдження у побудові інтелектуальних систем знання в даному випадку формуються з допомогою переліку правил у вигляді: "ЯКЩО-ТО". Інтелектуальні системи обробки та формування знань, які можуть користуватися приведеними вище представленнями називаються продукційними системами. До складу ЕС продукційного типу належать бази правил, фактичних даних (робоча пам'ять) та інтерпретатор правил, який реалізує механізм логічного висновку. Всі продукційні правила БД або баз знань складаються, в свою чергу з антецеденти та консеквенти. Антецедент посилання правила (умовна частина)

складається з елементарних пропозицій, з'єднаних логічними зв'язками І, АБО. Консеквент (висновок) має певну кількість пропозицій, що формують факт або рекомендації для деякої дії, що повинна виконуватися. Продукційні правила прийнято записувати у вигляді "антецедента-консеквента" [11, 12].

Приклад продукційного правила: ЯКЩО (двигун внутрішнього згорання не заводиться) І (стартер двигуна не працює), ТО (несправність електроживлення стартера).

Всі правила включають в себе (в залежності від складності правил) різну кількість пар "атрибут" – "значення". У робочій пам'яті виробничої системи зберігаються пари "атрибут – значення", істинність яких встановлюється в процесі вирішення конкретного завдання до деякого поточного моменту часу. Вміст робочої пам'яті змінюється в процесі виконання завдання. Це відбувається в міру спрацювання правил. Правило спрацьовує, якщо при зіставленні фактів, що містяться в робочій пам'яті, з антецедентом аналізованого правила має місце збіг, при цьому висновок спрацьовує, а правила заносяться в робочу пам'ять. Тому в процесі логічного висновку обсяг фактів в робочій пам'яті, як правило, збільшується. Зазначено, що зменшуватися він зможе в тому випадку, якщо дія якого-небудь правила полягає у видаленні фактів з робочої пам'яті. В процесі логічного висновку кожне правило з бази правил може спрацювати тільки один раз.

Для формування певних знань прикладної області ІТС та ІВС виникає проблема недостатності представлення фактів при використанні пари "атрибут" і "значення". Тому можливо це вирішити при впровадженні триплетів "об'єкт", "атрибут", "значення". В даному випадку зміст прикладної області є об'єктом, дані (значення) розділяються за властивостями (атрибутами) об'єкта. Перевагою такого підходу представлення знань є уточнення даних або контексту, де можливо використати правила. При використанні триплетів в БД можуть спрацювати правила більше одного разу під час реалізації одного логічного висновку. В даному випадку таке правило може бути використане до значної кількості екземплярів досліджуваного об'єкта, але лише один більше одного разу до кожного екземпляра.

Існують два типи продукційних систем – з прямими і зворотними висновками. Прямі висновки реалізують стратегію "від фактів-до висновків". Зворотні висновки мають на меті сформулювати гіпотези, що можуть підтвердитись або спростуватись дивлячись на факти, що входять в БД. Існують також системи з двонаправленими висновками.

Важливою особливістю продукційних систем є нескладне представлення знань та формування логічних висновків. До недоліків цих систем можна віднести наступні:

- відмінність від структур знань, властивих людині;
- неясність взаємовідносин правил;
- складність оцінки цілісного образу інформації (знань);
- низька ефективність обробки інформації (знань).

У системах з незначним об'ємом знань, до 100 правил, можна спостерігати лише позитивний ефект у виробничих системах, але при більшому об'ємі знань стають проявлятися значна кількість недоліків.

3.2.3 Фреймова модель представлення інформації в інтелектуальній системі.

Фреймова модель дає можливість представити знання у вигляді концептуальних об'єктів. Її фундаментом є теорія фреймів, яку запропонував М. Мінський, дана теорія моделює знання на принципах пам'яті люди та її свідомісно-психічних моделях. Вона має досить абстрактний характер. Базуючись тільки на її основі неможливо створити конкретні мови представлення знань. При цьому під фреймом розуміють структуру даних для уявлення деякого концептуального об'єкта.

Фрейм має ім'я, що служить для ідентифікації описуваного ним поняття, і містить ряд описів – слотів, за допомогою яких визначаються основні структурні елементи цього поняття. За слотами слідує шпациї, в які розміщують дані, поточних значень слотів. Слот в себе включає як певні значення, а також ім'я процедури, яке дозволяє провести розрахунок за сформованим алгоритмом. Процедури, які містяться в слоті є пов'язані або присьданні процедури. Команда або виклик процедури, що є зв'язаною виконується при виклику слота, де дана команда розташована. Заповнювачами слота можуть бути також правила продукцій, які використовуються для визначення конкретного значення. У слоті може міститися не одне, а кілька значень, в якості структурних. Зі складових фреймів використовуються дані складних типів: масиви, списки, множини, фрейми. Дані слоту можуть включати певний діапазон чи перелік необхідних значень, математичних моделей, частини якоїсь текстової інформації і т.д.

Комплекс даних прикладної області ІТС та ІВС може представлятися певною групою зв'язаних фреймів, які формують загальну фреймову систему, де в комплексі представлено як декларативні та процедурні знання. Дана система зазвичай утворюється за допомогою ієрархічної структури фреймів, які мають між собою родовидні зв'язки. Верхній ієрархічний рівень має фрейм з загальною інформацією, що є достовірною і фактичною для всьєї ієрархічної структури і кожного її фрейму.

Використовуючи інструмент теорії множин можливо над фреймами проводити операції об'єднання та перетину. Об'єднання фреймів в результаті дасть фрейм в якому будуть включені слоти об'єднуючих фремів. У слотах, які не є загальними, будуть збережені вихідні значення. У випадку, коли існують однойменні слоти у фреймах, які об'єднуються, то в результаті буде один слот з відповідним іменем, а його значення визначиться після результату об'єднання. При перетині фреймів в результуючому фреймі будуть присутні тільки ті слоти, які були у всіх вихідних фреймах. При цьому результуючі значення обчислюються двома способами. При реалізації першого способу в результуючому фреймі залишалися значення, що були однакові в початкових

фреймах. Другий спосіб виконується при знаходженні необхідних значень з використаннями операції перетину вихідних фреймів [10, 13].

Фреймові системи підрозділяються на статичні і динамічні. Останні допускають зміну фреймів в процесі виконання завдання.

Конструкція даних фрейму включає в себе значний набір інформації: імена фрейму та слотів в ньому, покажчики типів даних та успадкування, приєднуючі процедури і т.д. Імена фреймів є унікальними, оскільки вони відіграють важливу роль при ідентифікації фрейму. До фрейму входить довільна кількість слотів. Число слотів в кожному фреймі встановлюється проєктувальником системи, при цьому частина слотів визначається самою системою для виконання специфічних функцій (системні слоти). Ім'я слота повинно бути унікальним в межах фрейму. Зазвичай ім'ям слота є ідентифікатором, який наділений певною семантикою, оскільки ім'я слота може виступати довільний текст. Системні слоти мають різні значення в залежності від системи їх імена зазвичай зарезервовані. Редагування баз даних та керування висновком фреймової системи виконується за допомогою системних слотів [12, 14].

Покажчики успадкування дають можливість відобразити дані про властивості слотів з фрейму, що знаходяться на верхньому рівні до слотів нижнього рівня з відповідними іменами. Для фреймових систем є властивим застосовувати покажчики на проходження з взаємозв'язками "абстрактне-конкретне". В залежності від системи дані покажчики організуються різними способами і мають свої позначення:

U (Unique) – значення слота не успадковується;

S (Same) – значення слота успадковується;

R (Range) – значення слота, що знаходять в межах інтервалу значень, зазначених в однойменному слоті батьківського фрейма;

O (Override) – у разі не наявності даних та значень в певному слоті в такому випадку вони унаслідуються з фрейма, що знаходиться на вищому рівні, але також значення може бути визначене в поточному слоті. Цей тип покажчика виконує одночасно функції покажчиків U і S,

Покажчик типу даних показує тип значення слота. Найбільш живі типи: frame – вказівник на фрейм; real – дійсне число; integer – ціле число; boolean логічний тип; text – фрагмент тексту; list – список; table – таблиця; expression – вираз; lisp – зв'язано процедура і т.д. Дані або значення слотів мають відповідати певному типу даних, а також зазначеній успадковій умові.

У фреймових системах демони являються автоматичними процедурами, що вступають в дію за певної умови. Демони автоматично запускаються при зверненні до відповідного слоту. Типи демонів пов'язані з умовою запуску процедури. Демон з вбудованою умовою IF-NEEDED виконує підчас запиту до слота у випадку відсутності його значень. Демон IF-ADDED виконується якщо є намагання зміни значення відповідного слоту, а IF-REMOVED виконується при видаленні значення слоту. Можливі також інші типи демонів. Демон є різновидність пов'язаної процедури.

Приєднана процедура може використовуватися як процедура, яка є службовою мовою Лісп або методом в мовах об'єктно-орієнтованого програмування. Приєднана процедура запускається за повідомленням, переданим з іншого фрейму. Демони і приєднані процедури є процедурними знаннями, об'єднаними разом з декларативними в єдину систему. Дані процедурні знання є інструментами, щоб виводити інформацію у фреймовій системі, а також можливо виконувати різні механізми для логічних висновків. Представлення даних знань і заповнення ІС – є нелегкою справою, що потребує значних ресурсів та часу для реалізації. Тому проектування фреймових систем виконується, як правило, фахівцями, що мають високий рівень кваліфікації в галузі ШІ. Термін "фреймовий" в останні роки замінюють терміном "об'єктно-орієнтований". В такому випадку шаблони фреймів можливо представити класом, а окремі екземпляри фреймів об'єктами. Мови об'єктно-орієнтованого програмування (ООП) надають засоби створення класів і об'єктів, а також цінність опису процедур обробки об'єктів (методи). Мови ООП, що не містять засобів реалізації приєднаних процедур, не дозволяють організувати гнучкий механізм логічного висновку, тому розроблені на них програми або являють собою об'єктно-орієнтовані бази даних, або вимагають інтеграції з іншими засобами обробки знань (наприклад, з мовою PROLOG) [16].

Існують також спеціалізовані мови представлення знань на основі фреймової моделі, прикладами яких є: FRL (Frame Representation Language), KRL (Knowledge Representation Language), фреймова "оболонка" Kappa і ін. Відомі також експертні системи фреймового типу: ANALYST, TRISTAN, ALTERED, МОДИС [3, 19].

3.2.4 Семантична модель представлення інформації в інтелектуальних системах.

Представлення мережі в загальному варіанті на даний момент не існує. Дані мережі в інтелектуальних системах формують знання певної області. Такі знання представляються у вигляді образу або графу мережі, вузли мають опис понять та об'єктів, а взаємозв'язок між об'єктами характеризується дугами. В сегментичних мережах відсутня гранична кількість вузлів та дуг. В даному випадку завжди необхідно проводити систематизацію мереж, щоб формалізація була реалістичною. Наприклад, Куїллінові мережі [17, 20] виконують систематизацію функції відношень між об'єктами за наступними властивостями:

– "множина-підмножина" як типи відношень "абстрактне-конкретне", "ціле-частина", "рід-вид" та ін.;

- індекси (властивості, прикметники в мові і т.п.);
- кон'юнктивні зв'язки (логічні І);
- диз'юнктивні зв'язки (логічні АБО);
- зв'язки, що виключає АБО;
- відношення "близькості";
- відношення "подібності-відмінності";

– відношення "причина-наслідок" і ін.

При побудові семантичної мережі відсутні обмеження на число елементів і зв'язків. Тому систематизація відношення між об'єктами в мережі необхідна для подальшої формалізації.

Систематизація семантичної мережі є складним завданням, а також значно залежить від конкретної предметної області ІТС та ІВС. Саме на таких відносинах заснована концепція семантичної мережі. У семантичних мережах так само, як при фреймовому поданні знань, декларативні і процедурні знання не розділені. Отже, база знань не відділена від механізму доведення. Процедура логічного висновку зазвичай представляє сукупність процедур обробки мережі. Семантичні мережі отримали широке застосування в системах розпізнавання мови і експертних системах. Їх з успіхом можна використовувати при функціонуванні і удосконаленні ІТС і ІВС.

3.3 Методи обробки інформації в інтелектуальних транспортних і виробничих системах

3.3.1 Комп'ютерна обробка інформації в інтелектуальних системах при організації управління стратегією логічного висновку.

Комп'ютерна обробка інформації (знань) є однією з областей обробки інформації. Традиційна технологія обробки інформації орієнтована на обчислення, засновані на теорії Тьюрінга [17], яка реалізована в ПК з архітектурою фон Неймана. Цей підхід базується на концепції послідовної обробки інформації в часі, тому в таких ПК використовуються в основному мови процедурного типу, а в якості операційних механізмів – пристрої управління і арифметичні пристрої. Процеси обробки знань моделюють такі сфери людської діяльності, як міркування, систематизація, навчання і т.д. При перекладі подібних завдань на комп'ютери, буде явно не досить жорсткого набору інструкцій у вигляді програми на процедурній мові програмування, навіть якщо ця програма дуже складна. Адекватне уявлення знань вимагає розробки і застосування мов декларативного типу в ІС, а в якості операційних механізмів – різних способів реалізації логічного висновку. Очевидно, перспективне в цьому напрямку є комп'ютер з архітектурою, відмінною від фоннейманівського, орієнтованого на виконання інтелектуальних завдань. В даний час експерименти проводяться в основному на машинах Тьюрінга-фон Неймана і на машинах з паралельною обробкою даних [18].

Важливою особливістю ІС є вирішення системи аналізу, синтезу інформації, а також використання наявних знань. Вибір способу представлення знань в ІС є ключовим моментом розробки. З точки зору людини, бажано, щоб описові можливості використовуваної моделі були якомога вищі. З іншого боку, складне уявлення знань вимагає спеціальних способів обробки, оскільки ускладнюється механізм доведення. Це не тільки ускладнює проектування і реалізацію ІС, але може привести до втрати достовірності результатів або неможливості їх інтерпретації. В кінцевому

підсумку неминучий компроміс між найважливішими умовами та вимогами, висунутими до ІТС та ІВС на етапі проектування.

Передусім розглянемо способи реалізації логічного висновку при обробці інформації в системах з класичними моделями подання знань, тобто мова йде про основні способи доведення і формування висновків в логіці.

3.3.2 Силогізм переходу від передумов до логічного висновку.

Традиційною логікою є формальна система. Аристотель прагнув встановити і формально записати способи, за допомогою яких можна було б встановити правильність міркувань в розумній полеміці. Розробка сукупності баз правил, які характеризують можливі висновки є дуже складною задачею, а формування висновку з множини суджень називається силогізмом. В даному випадку під судженням розуміють закінчену думку, яку можна висловити на природній мові в одній з наступних чотирьох форм:

- всі $X \in P - (\forall X)P\{X\}$;
- ніякі X не $\in P - (\forall X)\neg P(X)$;
- деякі $X \in P - (\exists X)P(X)$;
- деякі X не $\in P - (\exists X)\neg P(X)$.

Кожне правило силогізму визначає перехід від передумов до висновку, що є інтуїтивно очевидним. Силогізм спочатку призначений для управління розумною дискусією на природній мові. Як формальна теорія, силогізм надмірно складний і не вичерпний. Його можна назвати логікою класів, яка не містить поняття доповнення класу. Будучи тісно пов'язаним з природньою мовою, силогізм іноді призводить до абсурдних результатів, зокрема, не допускаючи логічну еквівалентність двох способів висловлення однієї і тієї ж думки. Силогізм неповний в тому сенсі, що він не дозволяє здійснювати логічні висновки, в яких задіяні питання існування елемента деякого класу.

Грунтуючись на силогізмі, послідовники Аристотеля сформулювали принципи дедуктивного виведення для висловлювань, які знаходяться на більш високому рівні абстракції в порівнянні з судженнями. Найбільш відомими з цих правил є наступні:

1. Якщо імплікація $A \rightarrow B$ є істиною і A є істиною, в такому випадку B також істина.

2. Якщо імплікація $A \rightarrow B$ є істиною і B є неістиною, то A є не істина.

3. Якщо A є істиною і кон'юнкція $A \wedge B$ є неістиною, то B не істина.

4. Якщо A не істина і диз'юнкція $A \vee B$ істина, то B є істиною.

На основі цих правил сформульовано правило "ланцюгового заключення", вельми зручне для доведень в системі числення висловів.

5. Ланцюговий висновок: "Якщо істинна імплікація $A \rightarrow B$ і істинна імплікація $B \rightarrow C$, то імплікація $A \rightarrow C$ є істинною".

Застосовуючи правила логічного висновку, отримують нові логічні формули на підставі вихідних даних. При значній кількості вихідних даних можливе отримання великої кількості ланцюжків висновків, результати яких

можуть суперечити один одному. Подібні проблемні завдання повинні бути більш детально досліджені в певних ІС підчас керування стратегією формування висновків.

Проблема доведення і формування висновку в логіці полягає в знаходженні істинного значення укладення В, якщо передбачається істинність вихідних посилянь A_1, A_2, \dots, A_n , що записується у вигляді: $\supset A_1, A_2, \dots, A_n + B$. Знак \supset в доказах і висновках слід читати "вірно, що" або "можна вивести".

Існують два основні методи вирішення проблем доведення і формування висновку в логіці: семантичний і синтаксичний. Семантичний метод доведення полягає в наступному. Можна перелічити всі атоми, що входять до формули A_1, A_2, \dots, A_n, B , і скласти таблицю істинності для можливих комбінацій значень цих атомів. Потім слід здійснити перегляд отриманої таблиці, щоб перевірити, чи в усіх її рядках, де формули A_1, A_2, \dots, A_n мають значення "істина", формула В також має значення "істина". Цей метод можна застосовувати завжди, але може виявитися дуже трудомістким. При синтаксичному методі доведення спочатку записують посиляння, застосовуючи до них правила доведення, намагаються отримати з них інші справжні формули. З цих формул і вихідних посилянь виводять наступні формули, і цей процес продовжують до тих пір, поки не буде отримано необхідний логічний висновок. Зауважимо, що це не завжди можливо. Цей процес, по суті справи, і є формуванням логічного висновку [21].

3.3.3 Метод тавтології в процедурах логічного висновку в інтелектуальних системах.

Значення конкретної логічної формули можуть не залежати від значень вхідних в них "атомів". Правильно побудовані логічні формули, значенням яких буде "істина" при будь-яких значеннях вхідних в них "атомів" є тавтологією. Тавтології, або теореми логіки, мають наступну властивість: якщо замість всіх входжень деякого "атома" в тавтологію підставити довільну логічну формулу, то знову буде отримана справжня формула. Ця нова формула є окремим випадком вихідної формули, або результатом підстановки.

Розглянемо правило підстановки. Якщо $C(A)$ – тавтологія і замість всіх входжень формули А в С підставити формулу В, то $C(B)$ – тавтологія. Для позначення тавтології використовується символ \vdash який читається "загальнозначуще" або "завжди істинно".

Наведемо приклади тавтології:

1. $\vdash A \wedge (A \rightarrow B) \rightarrow B$;
2. $\vdash \neg B \wedge (A \rightarrow B) \rightarrow \neg A$;
3. $\vdash (A \rightarrow B) \rightarrow ((A \vee C) \rightarrow (B \vee C))$.

Доведемо те, що перша наведена тавтологія (Modus Ponendo Ponens) завжди буде мати значення "істина", про що свідчить побудована скорочена таблиця істинності (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Таблиця істинності для доведення тавтології

A	$A \rightarrow B$	$A \wedge (A \rightarrow B)$	$A \wedge (A \rightarrow B) \rightarrow B$
T	B	B	T
T	B	B	T
F	T	F	T
F	T	F	T

У наведеній таблиці Т – істина, F – неістина. Значення імплікації збігається зі значенням другого аргументу в тому випадку, якщо перший аргумент має значення Т, тому в перших двох рядках другого шпальти присутній другий аргумент – В, значення якого може бути довільним. Кон'юнкція $A \wedge (A \rightarrow B)$ при істинному А також матиме результат, що співпадає із значенням В. Останній стовпець таблиці коментарів не потребує, оскільки наведені в ньому результати очевидні [22].

Спробуємо встановити тавтологічність цієї ж формули синтаксичним методом. Для цього розкриємо всі дужки за розподільчим законом і переконаємося, що результат спрощується до формул з очевидними значеннями істинності:

$$\begin{aligned}
 (A \wedge (A \rightarrow B)) \rightarrow B &= \neg(A \wedge (\neg A \vee B)) \vee B = (\neg A \vee (A \wedge \neg B)) \vee B = \\
 &= ((\neg A \vee A) \wedge (\neg A \vee \neg B)) \vee B = (T \wedge (\neg A \vee \neg B)) \vee B = \neg A \vee \neg B \vee B = \\
 &= \neg A \vee (B \wedge \neg B) = \neg A \vee T = T.
 \end{aligned} \tag{3.6}$$

Для зменшення тавтології та різнорідних підстановок важливим інструментом в формуванні логічних висновків та суджень є еквівалентність. Необхідно вміти правильно здійснювати заміну взаємно еквівалентних формул. Наприклад, можна підставити $Q \vee P$ замість $P \vee Q$, оскільки $Q \vee P \leftrightarrow P \vee Q$. Еквівалентність $A \leftrightarrow B$ можна замінити двосторонньою імплікацією $(A \rightarrow B) \wedge (B \rightarrow A)$, через те, що вирази мають одну і ту ж таблицю істинності. Звідси можна зробити висновок, що логічна еквівалентність це імплікація в обох напрямках. Еквівалентність можна привести в кон'юнктивну нормальну форму, яка має вигляд: $(\neg A \vee \neg A \vee B) \wedge (\neg B \vee A)$. Якщо в цьому виразі розкрити дужки, отримаємо діз'юнктивну нормальну форму: $(\neg A \vee \neg B) \wedge (A \vee B)$. Іншими словами, якщо А і В еквівалентні, то вони або обидва істинні, або обидва неістинні.

Приклади тавтології з еквівалентності наступні:

- $\vdash (A \rightarrow B) \leftrightarrow (\neg B \rightarrow \neg A)$;
- $\vdash (A \vee B) \leftrightarrow (B \vee A)$;
- $\vdash A \wedge (A \vee B) \leftrightarrow A$;
- $\vdash (X \rightarrow (Y \rightarrow Z)) \leftrightarrow (X \rightarrow \wedge Y \rightarrow Z)$.

(3.7)

Під час процедурних логічних суджень та висновків з використаннями методу еквівалентності можливо застосувати два способи:

- розписувати у вигляді двох окремих імплікацій;
- використовувати при замінах.

При цьому важливо розуміти відмінність заміни від підстановки, яке полягає в наступному: якщо $A \leftrightarrow B$, то A можна замінити на B в будь-якому входження в формулу C , не змінюючи її значення. Причому це була заміна, яку не обов'язково здійснювати у всіх входженнях.

На протипаву тавтології в логіці існують суперечності: формули, значенням яких завжди буде "неістина" незалежно від значень що входять до них атомів. Прикладом є висловлювання $B \wedge \neg B = F$ при будь-якому значенні B .

Множина ППЛФ для деякої предметної області ІТС і ІВС є теорією заданої області знань, а кожна окрема ППЛФ іменується аксіомою. Мета побудови теорії полягає в описі потрібних знань найбільш простим способом. Якщо вдається побудувати теорію, яка адекватно описує задану область знань, то всі справжні факти з області інтерпретації будуть наслідками аксіом цієї теорії. Іншими словами, їх можна буде вивести з множини ППЛФ. Відповідно неправдиві факти не будуть наслідками теорії, отже їх не можна буде отримати шляхом логічного висновку на підставі аксіом даної теорії. Теорія є повною, якщо всі справжні факти є наслідками цієї теорії. Це означає, що кожна справжня для даної теорії ППЛФ може бути доведена на підставі її аксіом [16, 18, 23].

Про теорію кажуть, що вона є синтаксично послідовною несуперечливою, якщо з аксіом теорії неможливо вивести протиріччя. Теорія, в якій можна довести і P , і $\neg P$, непослідовна. Крім логічних формул, що виражають зв'язок фактів, будь-яка теорія містить справжні факти, на основі яких стає можливим конкретна інтерпретація ППЛФ. Припустимо, що в даній теорії такими фактами є: $A, B, \neg C, \neg D$.

Ця теорія є повною і послідовною, оскільки кожний її факт доводиться з інших аксіом і при цьому не виникає протиріччя. Довести це нескладно як семантичним, так і синтаксичним способом, однак для більш складних областей знань ІТС і ІВС необхідно використовувати певні стратегії доведення, що дозволяють подолати хаотичність процесів логічного висновку.

3.3.4 Методи стратегії доведення в інтелектуальних системах.

Існують три основні методи стратегії доведення в інтелектуальних системах: введенням припущень; від протилежного або приведення до протиріччя; резолюції.

Розглянемо доведення з введенням припущення. Для доведення імплікації виду $A \rightarrow B$ допускається, що ліва частина імплікації істинна, тобто A приймається в якості додаткового посилення, після чого роблять спроби довести праву частину B . Така стратегія доведення часто застосовується в геометрії при доведенні теорем [24].

Теорема 1. $A|B$ тоді і тільки тоді, коли $|A \rightarrow B$.

Ця теорема стверджує, що доказове укладення B при допущенні істинності A еквівалентне доказовій імплікації $A \rightarrow B$ без додаткових припущень. Справедливість цієї теореми впливає з наведеної раніше таблиці істинності (табл. 3.2).

Теорема 2. $A_1, A_2, \dots, A_n \mid B$ тоді і тільки тоді, коли $\mid (A_1 \wedge A_2 \wedge \dots \wedge A_n) \rightarrow B$.

Ця теорема виводиться з попередньої теореми 1 і того факту, що посилення A_1, A_2, \dots, A_n істинні тільки тоді, коли істинна їх кон'юнкція.

Наприклад: потрібно довести $A_1, A_2, \dots, A_n, P \mid Q$. Відповідно до теореми 2 отримаємо $\mid A_1 \wedge A_2 \wedge \dots \wedge P \rightarrow Q$. Застосувавши еквівалентність виду $(A \rightarrow (P \rightarrow Q)) \leftrightarrow (A \wedge P \rightarrow Q)$ маємо $\mid (A_1 \wedge A_2 \wedge \dots \wedge A_n) \rightarrow (P \rightarrow Q)$ звідки $\mid A_1, A_2, \dots, A_n \mid (P \rightarrow Q)$ в силу теореми 2.

Метод доведення приведенням до протиріч, запропонований К. Робінсоном в 1960-х рр., який дослідження в галузі штучного інтелекту вивів на новий рівень. Метод зумовив появу зворотних висновків і ефективних способів виявлення суперечностей. Сутність його полягає в наступному. Наприклад, потрібно довести $A \rightarrow B$. Замість цього можна спробувати довести $\neg B \rightarrow \neg A$, використовуючи еквівалентність. Таке доведення можливо провести двоюко, а саме: чи допустити A і довести потім B (це буде прямий висновок), або зробити припущення про те, що B – неістинне, після чого зробити спробу спростувати посилення A (зворотний висновок). Приведення до протиріччя – комбінація прямого і зворотного доведення. Для доведення $A \rightarrow B$ можна одночасно допустити A і $\neg B$ (посилення істинне, а висновок – неістинним):

$$\neg(A \rightarrow B) = \neg(\neg A \vee B) = A \wedge \neg B. \quad (3.8)$$

У процесі доведення можна рухатися по шляху, який починається від A чи від $\neg B$. Якщо B виводиться з A , то, допустивши істинність A , доведено B . Тому, зробивши припущення $\neg B$, отримаємо протиріччя. Якщо висновок призведе до успіху (тобто протиріччя, що не отримано), це буде свідчити про несумісність або суперечливість вихідних посилень. Не отримують протиріччя, якщо пропозиція $A \rightarrow B$, що доведена, є неістинною.

Доведення методом резолюції вважається більш важким для розуміння, проте має важливу перевагу перед іншими: легко формалізується. В основі методу лежить тавтологія, що отримала назву "правило резолюції":

$$\vdash (X \vee A) \wedge (Y \vee \neg A) \rightarrow (X \vee Y). \quad (3.9)$$

Зазначене дозволяє записати це правило в наступному вигляді:

$(X \vee A), (Y \vee \neg A) \mid (X \vee Y)$, що дає підстави стверджувати: з посилень $(X \vee A)$ і $(Y \vee \neg A)$ можна вивести $(X \vee Y)$. (3.10)

Доведемо цю тавтологію за допомогою тотожностей булевої алгебри:

$$\begin{aligned} & \neg((X \vee A) \wedge (Y \vee \neg A)) \vee X \vee Y = (\neg X \wedge \neg A) \vee (\neg Y \wedge A) \vee X \vee Y = \\ & = (X \vee (\neg X \wedge \neg A)) \vee (Y \wedge A) = (X \vee \neg A) \vee (Y \vee A) = X \vee Y \vee A \vee \neg A = X \vee Y \vee T = T \end{aligned} \quad (3.11)$$

Для наочності побудуємо скорочену таблицю істинності (табл. 3.3), з якої можна переконатися в справедливості методу резолюції, результат якого позначений в таблиці через R .

Таблиця 3.3 – Результати доведення методом резолюції

X	Y	$X \vee Y$	A	$X \vee A$	$Y \vee \neg A$	$(X \vee A) \wedge (Y \vee \neg A)$	R
T	T	T	T	T	T	T	T
T	F	T	T	T	F	F	T
F	T	T	T	T	T	T	T
F	F	F	T	T	F	F	T

Легко переконатися, що всі значення в стовпці R будуть істинними і при значенні $A = F$.

В процесі логічного висновку із застосуванням методу резолюції виконуються наступні кроки алгоритму:

1. Усуваються операції еквівалентності і імплікації:

$$A \leftrightarrow B = (A \rightarrow B) \wedge (B \rightarrow A); \quad (3.12)$$

$$A \rightarrow B = \neg A \vee B.$$

2. Операція заперечення просувається всередину формул за допомогою законів де Моргана:

$$\neg(A \wedge B) = \neg A \vee \neg B; \quad (3.13)$$

$$\neg(A \vee B) = \neg A \wedge \neg B.$$

3. Логічні формули приводяться до диз'юнктивної форми:

$$A \vee (B \wedge C) = (A \vee B) \wedge (A \vee C). \quad (3.14)$$

Правило резолюції містить в лівій частині кон'юнкцію диз'юнктив, тому приведення посилань, які використовуються для доведення і приведення до виду, який представляє собою кон'юнкції диз'юнктив. Це являється необхідним етапом практично будь-якого алгоритму, що реалізує логічний висновок на базі методу резолюції. Метод резолюції легко програмується, що є одним з найважливіших його переваг.

Припустимо, потрібно довести, що якщо істинні співвідношення $P \rightarrow R$, $P \vee Q$ і $Q \rightarrow S$, то можна вивести формулу $R \vee S$. Для цього потрібно виконати наступні кроки:

1. Приведення посилань до диз'юнктивної форми: $\neg P \vee R$, $P \vee Q$, $\neg Q \rightarrow S$.

2. Побудова заперечення виведеного висновку $\neg(R \vee S) = \neg R \wedge \neg S$. Дана кон'юнкція є досліджуваною, у випадку $\neg R$ і $\neg S$ є істинними.

3. Застосування правила резолюції:

$$(\neg P \vee R) \wedge \neg R \Rightarrow \neg P;$$

$$(P \vee Q) \wedge \neg R \Rightarrow \neg P;$$

$$(\neg Q \vee S) \wedge S \Rightarrow \neg Q;$$

$$Q \wedge \neg Q \Rightarrow F.$$

(3.15)

Якщо припустити, що сформуований висновок є неістинним, то можна отримати протиріччя, яке стверджує, що даний логічний висновок є істинним, оскільки $R \vee S$ можна вивести з вихідних посилань.

Правило резолюції є базою для створення мови логічного програмування PROLOG. По суті справи, інтерпретатор мови PROLOG самостійно реалізує висновок, подібний до вищеприведеного, формуючи при цьому відповідь на питання користувача на основі бази знань. У логіці предикатів при застосуванні правила резолюції слід реалізувати більш складну уніфікацію логічних формул, щоб привести їх до системи диз'юнктив. Це пов'язано з наявністю додаткових елементів синтаксису, в основному, кванторів, змінних, предикатів і функцій [25, 28].

3.3.5 Алгоритм уніфікації предикатних логічних формул, евристичних правил компонентів та операцій в експертних системах продукційного типу.

Алгоритм уніфікації предикатних логічних формул включає наступні кроки:

1. Виключення операцій еквівалентності.
2. Виключення операцій імплікації.
3. Внесення операцій заперечення в середину формул.
4. Виключення кванторів існування, що можливо статися на кроці 3 внаслідок застосування законів де Моргана, а саме: в результаті заперечення \exists змінюється на \forall , але при цьому може статися і зворотна заміна. В такому випадку для виключення \exists^* діють наступним чином, вся множина входження певної змінної, що пов'язана квантором існування замінюють у формулах на нову константу, наприклад α . Ця константа є деяким невідомим значенням змінної X , для якого твердження, записане цією формулою, істинно. При цьому важливо те, що на всі місця, де присутня змінна X , буде підставлена одне і те ж значення α , нехай воно і є невідомим в даний момент. Такі константи є сколемовськими, а операція – сколемізацією (по імені відомого норвезького математика і філософа Туральфа Альберта Сколема).
5. Квантори спільності виносяться на перші місця в формулах. Це також не завжди є простою операцією, іноді при цьому доводиться робити перейменування змінних.
6. Розкриття кон'юнкція, що потрапили всередину диз'юнкцій.

Після виконання всіх кроків описаного алгоритму уніфікації можна застосовувати метод резолюції. Зазвичай при цьому здійснюється заперечення виведеного заключення, і алгоритм виведення можна коротко описати таким чином: якщо задано кілька аксіом (теорія Th) і належить зробити висновок про те, виведена деяка формула P з аксіом теорії Th , будується заперечення $\neg P$ і додається до Th , при цьому отримують нову теорію Th_1 . Після приведення $\neg P$ і аксіом теорії до системи диз'юнктив можна побудувати кон'юнкцію $\neg P$ і аксіом і теорії Th . При цьому існує можливість виводити з вихідних диз'юнктив диз'юнкт-наслідок. Якщо P виводиться з аксіом теорії Th , то в процесі виведення можна отримати деякий диз'юнкт Q , що складається з однієї літери, і протилежний йому диз'юнкт $\neg Q$. Це протиріччя свідчить про те, що P виводиться з аксіом Th . Взагалі кажучи, існує множина стратегій доведення. В той час розглянута лише одна з можливих – спадна.

При визначенні порядку застосування аксіом в процесі доведення використовуються евристичні правила:

1. Перший етап виведення висновку використовує метод заперечення висновку.

2. На наступних етапах формування висновку використовують результати попередніх етапів.

Будь-яка ЕС продукційного типу повинна містити три основні компоненти: базу правил, робочу пам'ять і механізм виведення. База правил (БП) – формалізована за допомогою правил продукцій знання про конкретну предметну область ІТС або ІВС. Робоча пам'ять (РП) є такою областю пам'яті, в якій зберігається сукупність фактів, про поточну ситуацію, а також пари "атрибут-значення", які встановлені до визначеного моменту. Об'єм РП під час вирішення завдання підлягає зміні, найчастіше її об'єм збільшується зі збільшенням використаних правил. А тому РП являється динамічною ланкою бази знань, її об'єм прямопропорційно залежить від складності та умов поставленого завдання. У найпростіших системах збережені в РП факти не змінюються в процесі виконання завдання. Але є системи де є допустимим зміна та видалення даних з РП. Дані системи працюють з неповною або недостатньою кількістю інформації і мають монотонні висновки.

Механізм доведення виконує дві основні функції:

– аналіз наявних в РП правил та даних з БП, а також поповнення в РП необхідних даних;

– визначення порядку перегляду і застосування правил. Порядок може бути прямим або зворотним. Прямий порядок відбувається від фактів до висновків.

ЕС, які формують висновок з відомих фактів називаються експертні системи з прямим висновком. Такий висновок заноситься в робочу пам'ять. Як правило, прямі висновки застосовуються в системах діагностики стану досліджень об'єкта, такі висновки є керованими.

Протилежний метод це коли докази формуються від запропонованих висновків до наявних фактів. У системах зі зворотним висновком спочатку висувається деяка гіпотеза про кінцеві судження, а потім механізмом виведення намагаються знайти в робочій пам'яті факти, які могли б підтвердити або спростувати висунуту гіпотезу. Пошук потрібних фактів в експертних системах включає значну кількість ітерацій та кроків. При цьому можливе висування нових гіпотез та цілей. Зазначимо, що зворотні висновки управляються цілями.

Реалізація заявлених функцій в операціях виводу містить в собі компоненти керування та виведення. Дія компоненти виведення базується на застосуванні правила логічного висновку *Modus Ponendo Ponens*. Сутність застосування цього правила в продукційних системах полягає в наступному. Якщо в РП присутній істинний факт А і в БП існує правило виду "ЯКЩО А, ТО В", то факт В визнається істинним і заноситься в РП. Такий висновок легко реалізується на ПК. Разом з тим часто можливе виникнення проблем, пов'язаних з розпізнаванням значень слів, а також з тим, що факти можуть

мати внутрішню структуру і між елементами цієї структури можливі різного роду зв'язки. Розглянемо приклад, нехай є факт А – "Автомобіль – білий" і правило "ЯКЩО Автомобіль – білий, ТО Автомобіль легко помітити вночі". Людина легко виведе висновок "Автомобіль Тихого легко помітити вночі", але це не під силу системі чисто продукційного типу. Дана система не зможе дати даний висновок, оскільки А не точно відповідає антецеденті правила. Така проблемна ситуація розглядалась, коли описували різницю логіки предикатів та висловлювань. Крім того, невисока інтелектуальна потужність продукційних систем обумовлена тим, що людина виводить заключення, маючи в своєму розпорядженні всі свої знання, тобто БЗ величезного обсягу, в той час як системи здатні вивести порівняно невелику кількість висновків, використовуючи задану множину правил. Зі сказаного можна зробити висновок про те, що компонента виведення в системі повинна бути організована так, щоб бути здатною функціонувати в умовах недостатньої інформації.

Керуюча компонента визначає порядок застосування правил, а також встановлює, чи є ще факти, які можуть бути змінені в разі продовження роботи при немонотонному виведенні. Механізм доведення працює циклічно, при цьому в одному циклі може спрацювати тільки одне правило. Схема циклу наведена на рис. 3.1.

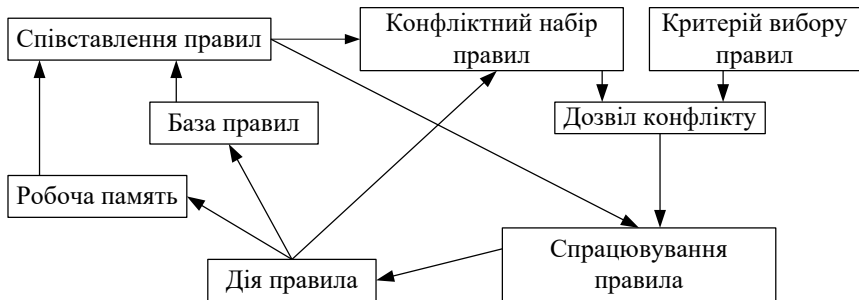


Рисунок 3.1 – Схема циклу роботи механізму доведення та вирішення проблем і завдань в інтелектуальних системах

У циклі виконуються наступні основні операції:

- співставлення правил – порівняння антецедент (зразок) правила з допустимими в робочій пам'яті даними або фактами;
- конфліктний набір правил – підбір правила з переліку правил, що є в наявності БЗ;
- спрацювання правила – якщо співпали зразки певного правила з БП з відповідним фактом, що є в РП, виконується відпрацювання необхідного правила, також дане правило фіксується в БП;

– дія правила – зміна вмісту РП шляхом додавання заклученням правила, що спрацювало. Якщо в заклученні міститься директива на виконання деякої процедури, остання виконується.

Оскільки механізм доведення працює циклічно та слід знати способи завершення циклу. Традиційними способами є або вичерпання всіх правил з БП, або виконання деякої умови, якій задовольняє зміст робочої пам'яті, або комбінація цих способів.

Специфічність ІС заключається у відсутності чітко визначеної процедури та її всього шляху розв'язку поставлених завдань. Даний шлях розв'язку постійно динамічно визначається наявними даними, які формуються від експертів та користувачів під час необхідних логічних висновків.

3.4 Методи прямого і зворотного доведень в стратегіях пошуку певних шляхів рішень проблем і завдань в системах продукційного типу

Розглянемо найпростіші приклади прямого і зворотного доведень в системах продукційного типу. Нехай в базі правил фігурують для прикладу наступні правила:

Правило 1. "ЯКЩО Двигун автомобіля не заводиться І фари не горять, ТО Сів акумулятор".

Правило 2. "ЯКЩО Датчик пального показує мінімум, ТО двигун не запускається".

Правило 3. "ЯКЩО Показчик пального знаходиться на нулі, ТО Немає пального".

Правило 4. "ЯКЩО Засмічено паливний насос, ТО Двигун не заводиться".

3.4.1 Прямі доведення з використанням існуючих наборів правил без їх конфліктних наборів.

Основними кроками алгоритмами прямого доведення є:

1. Зіставлення фактів з РП із зразками правил з БП. Правило 1 не може спрацювати, а правило 2 спрацює, тому що зразок, що співпадає з його антецедентом, присутній в РП.

2. Дія спрацьованого Правила 2. В РП заноситься висновок цього правила - зразок Двигун не заводиться.

3. Другий цикл зіставлення фактів в РП із зразками правил. Тепер спрацює Правило 1, оскільки кон'юнкція умов в його антецеденте стає справжньою.

4. Дія Правила 1, полягає у видачі користувачеві остаточного діагнозу: сів акумулятор.

5. Кінець роботи (БП вичерпана).

Приклад прямого виведення з конфлікту набором. Тепер припустимо, що в БП крім Правила 1 і Правила 2 присутній Правило 3.

Підчас порівняння спочатку можна використати декілька правил – Правило 2 та Правило 3, в такому випадку є конфліктний набір та виникає

завдання вибору: що з даних правил використати спочатку. У випадку вибору Правила 2, в РП додаються факти, а також в подальшому знову є набір конфліктних правил, тому що потрібно використати та вибрати Правило 1 та Правило 3. У випадку вибору Правила 1, висновок можливо сформулювати за дві операції. При будь-якому іншому виборі порядку застосування правил до цього ж висновку приходимо за три кроки. Якщо завершення циклу роботи системи настає після перегляду всіх правил, то число кроків буде дорівнює трьом, причому порядок застосування правил не матиме жодного значення.

3.4.2 Зворотне доведення з використанням безконфліктного набору правил з наявної їх сукупності.

Алгоритм зворотного доведення містить наступні кроки:

1. Було висунуто гіпотеза остаточного діагнозу: сів акумулятор.
2. Відшукується правило, висновок якого відповідає висунутій гіпотезі, в нашому прикладі – це Правило 1.

3. Досліджується можливість застосування Правила 1, тобто вирішується питання про те, чи може воно спрацювати. В такому випадку в РП мають бути наявні дані та факти, які співпадають з зразками відповідних правил. В наведеному прикладі Правило 1 не відпрацьовує, оскільки відсутнє в РП зразок "двигун не заводиться". Даний факт виступає новим завданням або метою під час наступного етапу доведення.

4. Пошук правила, закінчення якого відповідає новій меті. Таким правилом є – Правило 2.

5. Досліджується можливість застосування Правила 2 (зіставлення). Дане правило запускається, оскільки в РП є факт, який відповідає його зразку.

6. Дія Правила 2, що складається в занесенні закінчення Двигун не заводиться в РП.

7. Умовна частина Правила 1 тепер підтверджена фактами, отже, воно спрацьовує, і висунута початкова гіпотеза підтверджується.

8. Кінець роботи.

При порівнянні цього прикладу з прикладом прямого доведення можна помітити переваги зворотних висновків перед прямими. Приклад зворотного висновку з конфліктним набором. Припустимо, що в БП записані Правило 1, Правило 2, Правило 3 і Правило 4:

"ЯКЩО Засмітився паливний насос, ТО Двигун не заводиться".

В РП наявні відповідні (однотонні) факти або дані: Лампи фар не загораються і датчик пального показує мінімум.

За таких умов використання алгоритму зі зворотнім доведенням з використанням конфліктного набору правил має такі кроки:

1. Було висунуто гіпотезу Сів акумулятор.
2. Знаходження правила, суть якого відповідає поставленій меті. Це Правило 1.

3. Досліджується можливість застосування Правила 1. Воно не може спрацювати, висувається нова підціль Двигун не заводиться, відповідна невивстаючому зразку.

4. Пошук правил, укладення яких збігаються з новою підцілкою. Виявлено таких правил два: Правило 2 і Правило 4. У випадку вибору Правила 2, наступні кроки будуть як у прикладі, що без набору конфліктних правил. Якщо виберемо Правило 4, то воно не спрацює, тому що в РП немає зразка Засмітився паливний насос. Потім буде використане Правило 2, яке дасть змогу вирішити завдання, але для цього шлях до вирішення буде на 1 крок більше.

Слід звернути увагу на те, що Правило 3, не пов'язане з поставленою метою, взагалі не піднімалося в процесі доведення. Цей факт свідчить про більш високу ефективність зворотних висновків в порівнянні з прямими, оскільки при зворотних висновках існує тенденція виключення з розгляду правил, що не мають відношення до поставленої мети [29].

3.4.3 Фреймові та продукційні системи, їх структури та стратегії розвитку.

В ЕС операції керування логічними висновками не відображається ні користувачами, ні аналітиками, але про них потрібно знати і мати загальні поняття, щоб правильно і доцільно навести роз'яснення отриманих результатів. Тому необхідно розуміти: як зберігаються знання та дані, можливість вибору початкової точки для пошуку, інструкції для розв'язання конфліктів в правилах, а також етапи накопичення знань. У системі OPS застосовано стратегію прямих висновків, ефективність яких істотно підвищується використанням алгоритму узгодження RETE при генерації конфліктного набору правил. Сутність цього алгоритму зводиться до наступного: кожен раз при додаванні в РП нового зразка перевіряється правило, в якому він використовується, і якщо зразок задовольняє антецеденту деякого правила, то він запам'ятовується саме в цій якості. Зазначимо, що у конфліктний набір правило включають тільки в тому випадку, якщо його додавання задовольняє усім умовам. При розв'язанні конфліктних ситуацій в системах групи OPS, та в системах, що мають прямий вивід дуже часто використовують метод LEX, для якого в пріоритеті є правила, що посилаються на самий останній згенерований зразок. Якщо таких правил декілька, то серед них вибирається правило з найбільшим числом умов в антецеденті. У об'ємних системах продукційного типу всі знання формуються та накопичуються у формі циклічного графу "дерево", що також називають "І-АБО граф". Фрагменти такої структури наведено на рис. 3.2 і 3.3.

За класичною формою графу необхідна наявність в антецеденті лише зв'язки форми "І". На практиці класична форма може бути розширена, наприклад, введенням зв'язки АБО в умовну частину або включенням в антецедент обчислень на підставі вмісту робочої пам'яті і т.п. Якщо існує безліч правил, з яких виводиться один і той же висновок то, виконавши операцію диз'юнкції над усіма висновками, отриманими за допомогою цих правил, можна показати ставлення між результатом окремого доведення і даними, на підставі яких робиться висновок [30].

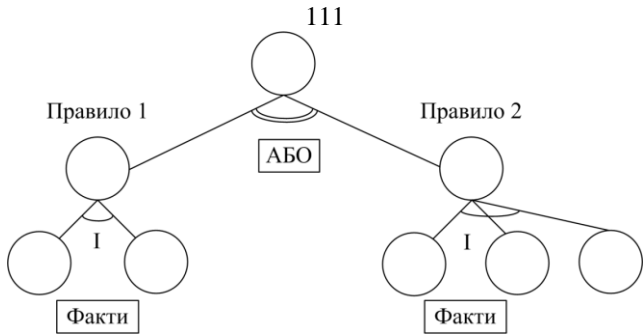


Рисунок 3.2 – Прості фрагменти схеми структури І-АБО-графу

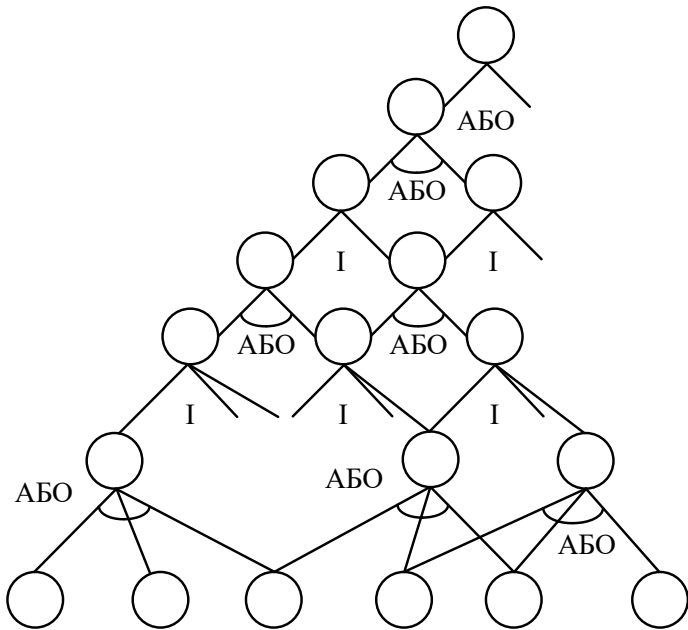
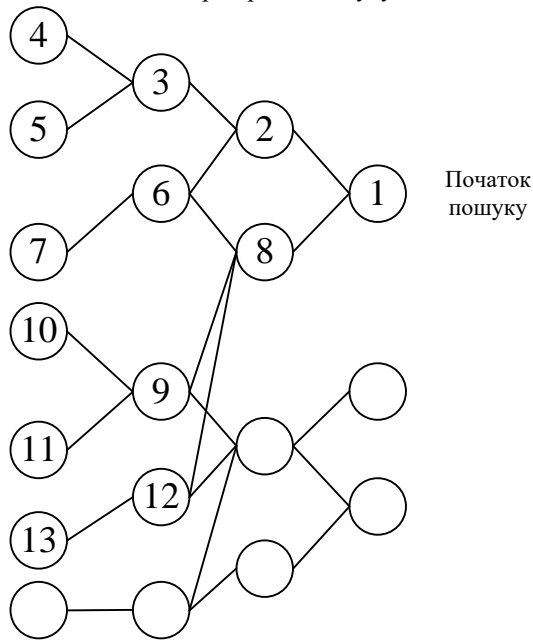


Рисунок 3.3 – Фрагмент схеми структури І-АБО-графу продукційної експертної системи

За допомогою І-АБО-графу зворотний висновок в ЕС продукційного типу можна представити як проблему пошуку певного шляху на графі. Вибір однією із зв'язків АБО відповідає вирішенню конфліктної набору, при цьому не байдужий по рядок оцінки умов в антецеденте, з'єднаних зв'язкою І. Розв'язання завдань та формування стратегічного пошуку з використанням графу "дерево" описано у науковій літературі [31, 32] в значній мірі. Однак

слід зупинитися на способах підвищення ефективності пошуку. В прикладних системах (транспортних та виробничих) є в наявності більше сотні правил, а також необхідно знати, які стратегії використовувати для управління доведення потрібних знань та вирішення завдань за мінімальний час.

Стратегія пошуку правила в глибину полягає в наступному. Для вибору наступних підцілей підчас зворотнього доведення переваг, в більшості випадків перевага надається тієї, що має детальний опис вирішуваного завдання. Наприклад, система діагностики, зробивши на підставі відомих симптомів припущення про причини несправності, буде запитувати уточнюючі ознаки і симптоми до тих пір, поки повністю не підтвердить висунуту гіпотезу. Приклад організації пошуку в глибину показано на рис. 3.4, де цифрами позначені номери кроків пошуку.



1-13... - факти та їх укладання

Рисунок 3.4 – Схема організації пошуку в глибину при зворотньому доведенні (розв'язанні) дослідженої проблеми або завдання

Стратегія пошуку в ширину полягає в наступному. При пошуку в ширину спочатку аналізуються всі симптоми (факти), що знаходяться на одному рівні простору станів завдання, навіть якщо вони належать до різних цілей (підцілей). Після цього здійснюється перехід до пошуку симптомів наступного рівня. На рис. 3.5 показано кроки пошуку в ширину, позначені номерами, зазначеними в вершинах.

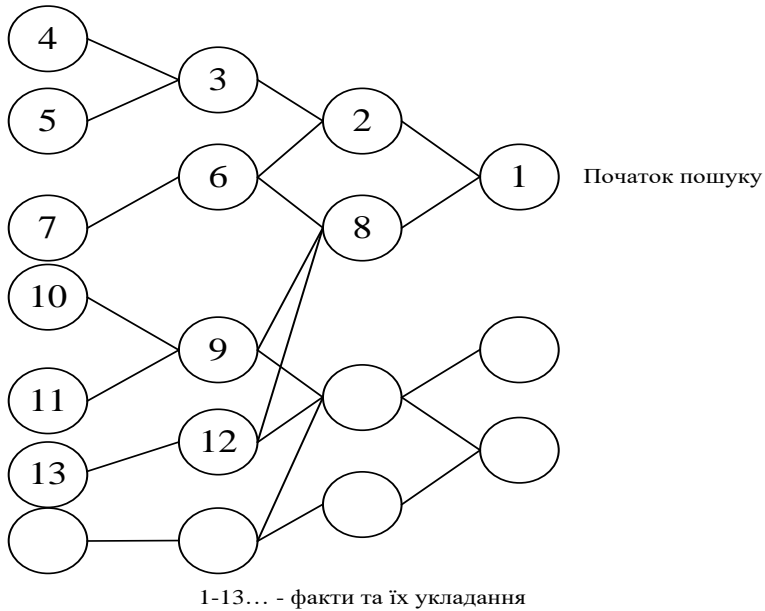


Рисунок 3.5 – Пошук в ширину при зворотному доведенні

На рис. 3.5 представлена стратегія зворотного доведення на тому ж I-АБО-графі, який наведено і на рис. 3.4. Алгоритм пошуку в глибину більш ефективний щодо часу пошуку і обробки знань, проте він характеризується більш високим ризиком втрати перспективних рішень у порівнянні з пошуком в ширину.

Декомпозиція (розбиття на підзавдання) дає позитивний ефект тільки для добре структурованих областей знань, оскільки застосування цієї стратегії засноване на правильному розумінні суті завдання і можливості її подання у вигляді системи ієрархічно пов'язаних "цілей-підцілей", причому розбиття на підзавдання необхідно виконати оптимальним способом.

При використанні α - β -алгоритму вирішуване завдання приводиться до мінімізації кількості гілок, що є неперспективні при знаходженні раціонального розв'язку, в такому випадку залишаються вершини графу, де можливо попасти в результаті наступного кроку, після чого неперспективні напрямки виключаються.

Розглянемо обробку інформації (знань) в ІС на основі фреймового уявлення. В таких системах з фреймовим поданням знань використовуються три способи управління логічним висновком: демони, приєднані процедури і механізми наслідування. Останнє є єдиним механізмом доведення, яким оснащені фреймові (об'єктно-орієнтовані) системи [33].

Управлінські функції механізму наслідування полягають в автоматичному пошуку і визначенні значень слотів фреймів нижчих рівнів за значеннями слотів фреймів верхніх рівнів, а також в запуску приєднаних процедур і демонів замовлення. Приєднані процедури і демони замовлення дозволяють реалізувати будь-який механізм виведення в системах з фреймовим поданням знань. Однак ця реалізація має конкретний характер і вимагає значних витрат праці проєктувальників і програмістів. Під демон замовленням будемо розуміти процедуру, яка автоматично реагує при спробі підстановки значень в слот із зазначенням ім'я місця проведення. Її основна функція заключається у визначенні можливості замовлення місця в складському приміщенні у необхідний час. Дана процедура на мові LISP має наступний вигляд:

```
LISP ргос "Замовлення" (Назва підприємства, що надає послуги
зберігання, Місце зберігання, Дата) if "можливо" (Місце зберігання, дата)
```

```
  then "Замовити" (Назва підприємства, що надає послуги зберігання,
Місце зберігання, Дата) else повідомлення "Замовлення неможливе", Назва
підприємства, що надає послуги зберігання end.
```

Демон ХТО? автоматично запускається при зверненні до слоту Доповідач, якщо значення цього слоту не визначене. Основний зміст даної процедури – генерація запиту до користувача типу "Хто виступає?" та процес отримання відповіді та запис значень слота.

Реалізація доведення за допомогою приєднаних процедур вимагає наявності механізму обміну інформацією між фреймами. В якості такого механізму зазвичай використовується механізм повідомлення.

На рис. 3.6 відображено обмін даними у парі фреймів AA та BB при реалізації процедури CALC, в такому випадку запускається також процедура MEAN, що є у фреймі BB.

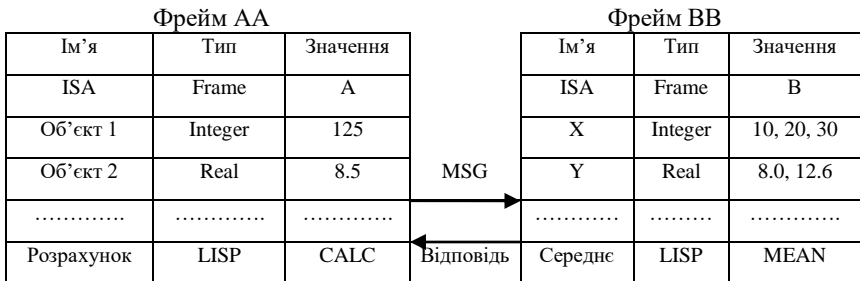


Рисунок 3.6 – Відображення процесу обміну інформацією між фреймами

Припустимо, що процедура CALC (result) виконує розрахунок, в процесі якого відбувається звернення до фрейму BB з використанням команди MSG, що реалізує передачу повідомлення в інший фрейм.

LISP proc CALC(result)

.....

MSG (Средне, BB, X)

(3.16)

.....

end.

Команда MSG має три параметри: 1 – ім'я слота, до якого відбувається звернення (в даному випадку значенням слота середнє є приєднаною процедурою MEAN); 2 – ім'я фрейму, в якому міститься необхідна інформація (BB); 3 – ім'я слота-параметра, в якому знаходяться дані для розрахунку (X). Таким чином, запуск процедури CALC викличе виконання наступних дій: передача повідомлення у фрейм BB на запуск процедури MEAN, яка знайде середнє арифметичне чисел, записаних в слоті X; обчислене значення буде записано в змінну result і передано в CALC як відповідь на повідомлення MSG.

В IC з фреймовим поданням знань неможливо чітко відокремити процедурні знання від декларативних, оскільки приєднані процедури і демони замовлення одночасно є і знаннями, і засобами управління логічним висновком. На рис. 3.7 схематично показані засоби управління висновком у фреймовій системі.

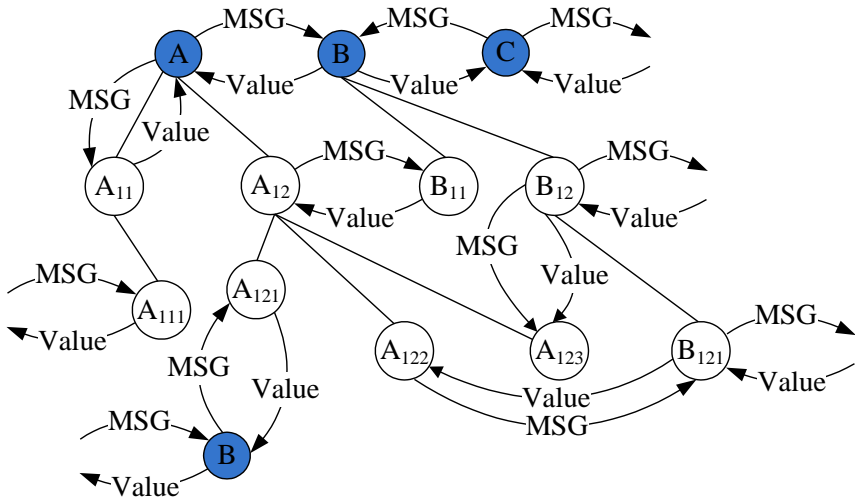


Рисунок 3.7 – Схематичне відображення зв'язку між засобами управління в інтелектуальній системі фреймового типу

Можливість організації висновків будь-якого типу є суттєвою перевагою фреймових систем у порівнянні з продукційними і логічними. Важливо також підмітити перевагу, що дана модель представлення знань, значно подібна до біологічної пам'яті людини. Разом з тим практична

реалізація фреймових систем пов'язана зі значною трудомісткістю на етапі проектування, при реалізації та удосконаленні ІТС і ІВС.

3.5 Розробка інтелектуальних транспортних і виробничих систем з використанням типових моделей подання інформації та її обробка на фреймовій основі

Розглянемо приклади застосування традиційних способів подання та обробки інформації (знань) в інтелектуальних системах. Опускаємо все, що пов'язано з освоєнням і застосуванням готових промислових оболонок систем, а також завдання, які можуть бути вирішені з використанням мови PROLOG. Такі додатки вимагають знайомства зі спеціальною інформацією, яка широко представлена в літературі з програмування і використання готових програмних засобів. При володінні методами програмування, можливо самостійно розробляти оболонки невеликих систем логічного і продукційного типу, а також проектувати комп'ютерні ігри.

Розробляти оболонки невеликих систем можливо практично на будь-якій мові процедурного або об'єктно-орієнтованого програмування, а також на мовах логічного типу, найбільш відомим представником яких є PROLOG. В останньому випадку програміст звільняється від реалізації механізму логічного висновку, який є частиною PROLOG-систем. У його завдання входять пошук, структурування та подання знань засобами логіки предикатів, створення БЗ і написання програми, що управляє процесом обробки знань.

Підчас формування систем продукційного типу з допомогою процедурних мов програмування спочатку необхідно розробити БЗ, а також інструмент логічних висновків (прямий або зворотній) за таких умов також доцільно організувати ефективний користувацький інтерфейс. У базі знань повинні зберігатися список фактів у вигляді текстових знань і набір правил, що показують зв'язки між фактами в аналізованій предметній області. На рис. 3.8 і 3.9 наведені екранні форми оболонки системи, орієнтованої на завдання діагностики, де показано взаємодію системи з користувачем на етапі введення і редагування

У розробленій системі реалізована стратегія прямого логічного висновку, в процесі якого здійснюється горизонтальний пошук фактів на заданій у вигляді І-АБО-графа в структурі знань предметної області. При цьому передбачено створення спеціального файлу, в якому зберігаються питання, що задаються користувачеві в процесі вирішення завдань діагностики. Сам процес системи діагностики реалізований на мові TurboPascal 7.0 й працює під управлінням MS DOS. У даній версії системи не передбачено формування файлу питань, користувач просто вказує на наявність або відсутність висунутого симптому. Система надає користувачеві пояснення отриманих результатів, показуючи набори фактів, на підставі яких отримані ті чи інші висновки [34].

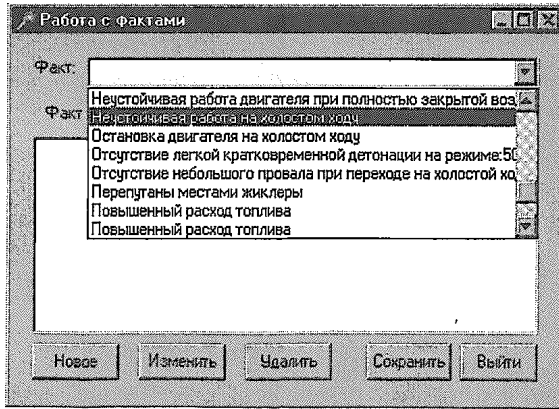


Рисунок 3.8 – Вікно визначення й змінювання фактів в експертних системах продукційного типу

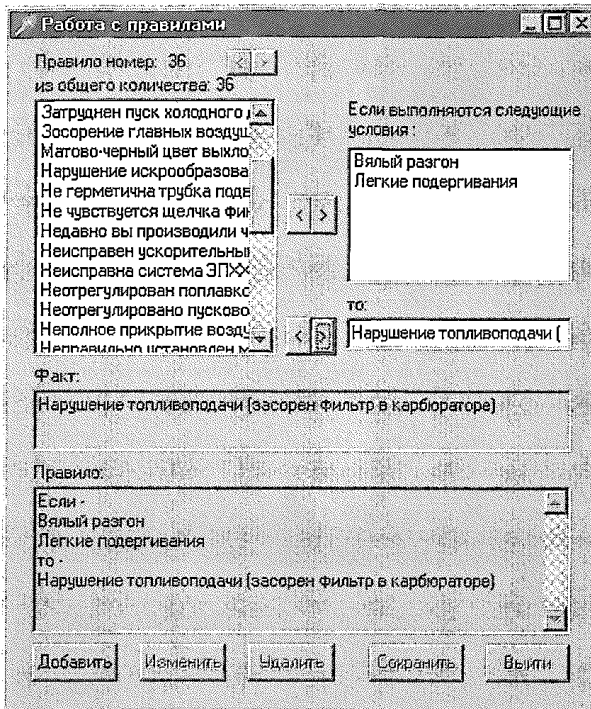


Рисунок 3.9 – Вікно введення і редагування правил в експертних системах для вирішення завдань діагностики інформації

Програмна реалізація процедур пошуку і обробки знань не викликає принципових труднощів. У найпростішому випадку БЗ являє собою два

файли, в одному з яких зберігаються текстові описи фактів, які використовуються в антецеденті і консеквента правил, а в іншому - правила, що встановлюють взаємозв'язок фактів. Користувачі подібних систем повинні підготувати конкретну інформацію і створити необхідні файли БЗ. При цьому порядок запису правил може впливати на порядок питань, які система буде задавати користувачеві. Тому доцільно побудувати І-АБО-граф, що відображає взаємозв'язки фактів, і з його допомогою визначити первинні факти (симптоми), які зустрічаються тільки в антецеденті правил, вторинні, присутні в умовних частинах одних правил і в висновках інших, і діагнози – факт, є остаточними висновками. Здійснюючи обхід І- АБО-графа в напрямку від первинних фактів до висновків, ЕС задає користувачеві питання, на підставі отриманих відповідей формує вміст робочої пам'яті і здійснює відповідні висновки.

Для вирішення протиріч в розроблених системах використовуються алгоритм LEX, а також інші евристичні способи. Застосування програм подібного типу приносить користь в процесах вилучення знань і в експериментальних дослідженнях можливостей їх подання засобами продукційної моделі. При виборі адекватної моделі представлення знань в створюваних ІС часто виникає необхідність розгляду альтернативних варіантів представлення, при цьому використання простих у використанні інструментальних програмних засобів дозволяє з мінімальними витратами здійснити експериментальну перевірку продукційної моделі.

Висновки по розділу 3

1. Характерною ознакою інтелектуальних систем є наявність інформації (знань), необхідних для вирішення завдань конкретної предметної області: транспортної або виробничої. Визначено два способи представлення знань в інформаційних системах: розміщення знань в програму, написану на звичайній мові програмування, реалізація концепції бази даних і внесення знань в окрему категорію. Розглянуто сукупність класифікацій знань в окрему категорію до інтелектуальних транспортних і виробничих систем.

2. Знання в інтелектуальних системах представлені у вигляді типових моделей: логічна, продукційна, фрейм мова і семантичної мережі. Кожній із зазначених моделей відповідає своя мова подання знань. Дано коротку характеристику типовим моделям знань і наведено результати розрахунку по їх операціям. Визначено по моделям системи з сформованих прямих і зворотних висновків, зазначено переваги і недоліки.

3. Комп'ютерна обробка знань є однією з областей обробки інформації. Дано порівняльний аналіз традиційної технології обробки інформації, заснованої на теорії Тьюринга, яка реалізована з архітектурою фон Неймана. Розглянуто два основні методи вирішення проблем в інтелектуальних системах при логічному доведенні: семантичному і синтаксичному. Зазначена специфікація кожного з цих методів. В процедурах логічного висновку

користуються двома способами: у вигляді двох окремих імплікацій і використання їх при замінах.

4. Розглянуто множини правильно побудованих формул і логіці як деяку предметну область, теорію знань. Крім логічний формул, що виражають зв'язок фактів, теорія містить справжні факти. Визначено три стратегії доведення: з введенням припущень, від супротивного, метод резолюцій. Сформульовані теореми, в яких реалізовані стратегії доведення. Представлено кроки реалізації різних стратегій доведення. Побудовано алгоритм уніфікації логічних формул.

5. При визначенні порядку застосування аксіом в процесі доведення використовуються евристичні правила. Інструменти доведення реалізують дві функції: аналіз в робочій пам'яті фактів або даних та правил; додаткове доповнення системи новими фактами або даними, а також впровадження порядку для ознайомлення та використання правил.

6. З'ясовано структуру систем продукційного і фреймового типу та стратегії їх удосконалення. На прикладі продукційної експертної системи прослідковано стратегії пошуку правила в глибину та ширину при прямому та зворотному доведеннях.

7. Розглянуто обробку інформації (знань) в інтелектуальних системах на основі фреймового уявлення. Виявлені також засоби управління в інтелектуальних системах фреймового типу.

8. На прикладі застосування традиційних способів подання та обробки інформації (знань) використано готові промислові оболонки систем та також завдання, які можуть бути виділені з використанням мови PROLOG та дано шляхи можливих розроблень оболонок невеликих систем на будь-якій мові процедурного або об'єктно-орієнтованого програмування.

ГЛАВА 4. ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ НЕЧІТКИХ МНОЖИН ПРИ ПРОЕКТУВАННІ І ФУНКЦІОНУВАННІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ ТА ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

4.1 Нечіткості інформації (множини знань) та способи їх врахування і усунення в інтелектуальних системах

При створенні та функціонуванні інтелектуальних транспортних і виробничих систем інформація (знання) про конкретну предметну область, для якої створюється система, рідко буває повною і абсолютно достовірною. Кількісні дані, отримані шляхом точних експериментів, володіють статистичними оцінками достовірності, надійності та значущості. Дані та необхідна інформація в ЕС, що включається в них формується під час інтерв'ю та опитувань експертів, за таких умов думки експертів можуть бути не чітко сформовані та розсадитися за своїм змістом. В даних повинні бути, показники якості, правила, текстова інформація [1].

Обробка бази знань здійснюється із застосуванням жорстких механізмів формальної логіки виникає суперечність між множиною нечітких знань і чіткими методами логічного висновку. Розв'язати це протиріччя можливо або шляхом подолання нечіткості знань (якщо це можливо), або використанням спеціальних методів представлення та обробки множини нечітких знань.

Некоректні завдання існують практично в будь-якій проблемній області в тому числі в транспортній та виробничій. Якщо наявна некоректність і слабоструктурність знань, то можна очікувати ефект від застосування ІС. При цьому в області некоректних завдань точні знання про проблему отримати неможливо, оскільки застосовується підхід, сутність якого полягає в поступовому наближенні до повного набору необхідних знань. В таких випадках використовуються методи представлення множини нечітких знань і механізмів доведення, що працюють в їх середовищі [2].

Сутність терміну нечіткість множини знань багатозначна. Основними її компонентами є: недетермінованість висновків; багатозначність; ненадійність; неповнота; неточність.

Недетермінованість висновків є характерною рисою більшості систем штучного інтелекту. В такому випадку під недетермінованістю розуміють неможливість передбачити шлях певного розв'язання завдання в розроблених системах. В разі якщо не спостерігається успіх, організовується перебір з поверненням для пошуку іншого ланцюжка і т.д. Такий підхід передбачає визначення деякого початкового шляху.

Для вирішення подібних завдань використовують множину евристичних алгоритмів [6,14]. Розглянемо один з них – класичний алгоритм А*, розроблений на етапах створення ШІ. В алгоритмі А* використовуються оціночні функції, побудовані на основі апріорних оцінок вартості шляху до цільового стану системи. Зазначимо, що такі оцінки теж являють собою

евристичні знання. Для пошуку в просторі станів системи використовують дерево пошуку і методи горизонтального і вертикального пошуку на ньому.

Основні кроки і поняття алгоритму A^* можна зрозуміти, розглянувши приклад гри в "вісім цифрових квадратів", як систему. Метою цієї гри є перехід з деякого початкового стану системи в кінцевий, як показано на рис. 4.1.

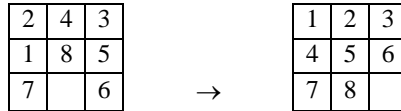


Рисунок 4.1 – Схема переходу системи гри "вісім цифрових квадратів" з початкового стану в кінцевий

В якості основного об'єкта більш зручніше розглядати не пересування шашки у грі "А", а переміщення порожнього квадрата. При цьому можливо визначити чотири основних оператори, виконуваних над порожнім квадратом:

- переміщення порожнього квадрата вліво ←;
- переміщення порожнього квадрата вгору ↑;
- переміщення порожнього квадрата вниз ↓;
- переміщення порожнього квадрата вправо →.

Оцінна функція $f(n)$ в даній системі формується як вартість оптимального шляху до мети з її початкового стану через n вершин дерева пошуку [3-5]. Схема дерева пошуку наведена на рис. 4.2.

Значення оцінної функції в n -й вершині уявімо як суму двох складових:

$$f(n) = g(n) + \alpha h(n), \quad (4.1)$$

де $g(n)$ – вартість оптимального шляху від першої вершини до n -ої, $\alpha h(n)$ – вартість оптимального шляху від n -ої вершини до мети. Для спрощення вважаємо, що вартість переміщення однієї шашки (або порожнього квадрату) дорівнює 1. Оптимальним буде шлях, який має мінімальну вартість. Оскільки точне значення $f(n)$ неможливо знати в процесі пошуку, тому введемо апіорну оцінку значення функції: $\hat{f}(n) = \hat{g}(n) + \hat{h}(n)$, де $\hat{g}(n)$ – функція глибини пройденого шляху на дереві пошуку від 1-ої до n -ої вершини; $\hat{h}(n)$ – функція апіорного значення [6].

Основна проблема полягає у визначенні другого компонента $h(n)$ оцінної функції $f(n)$, оскільки цей шлях ще не пройдено. В якості апіорної оцінки $h(n)$ можна взяти число шашок, що знаходяться не на своїх місцях на n -ому кроці пошуку. Сформувавши, таким чином оцінну функцію, визначають стратегію вибору вершин (застосування операторів), в яких значення функції мінімальні. Результат пошуку показано на рис. 4.2, де цифри

в кружечках показують послідовність переходів з початкового стану в кінцеве.

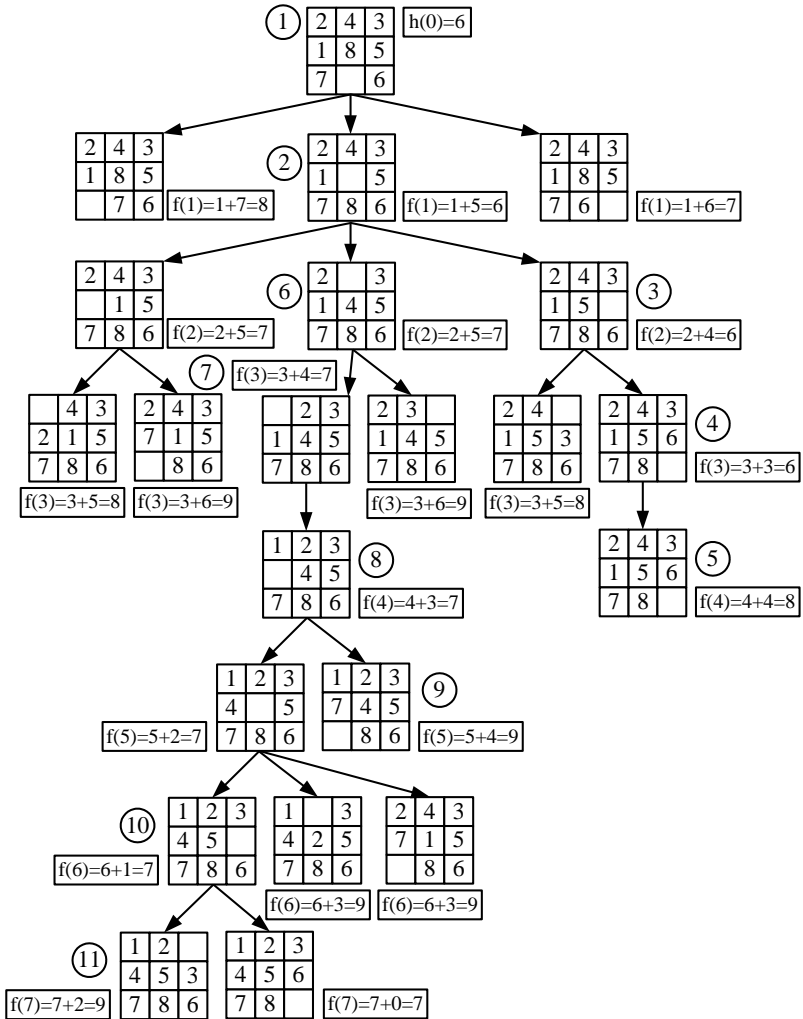


Рисунок 4.2 – Схема дерева пошуку в системі гри в "вісім цифрових квадратів"

Основними кроками реалізованого алгоритму гри в "вісім цифрових квадратів" є:

1. Розгляд всіх можливих операторів над порожнім квадратом в початковому стані та вибір варіанту з найменшим значенням $h(n)$.

2. Використання обраного оператора в результаті отримання нового стану.
3. Створення вершини наступного рівня ієрархії, аналізуючи застосування всіх можливих операторів для переходу в новий стан.
4. Вибір стану з найменшим значенням $h(n)$.
5. Повторення перерахованих дій до тих пір, поки не буде досягнута мета [7].

В даному випадку важливо, що $\hat{h}(n) < h(n)$, тобто апіорна оцінка вартості оптимального шляху не перевищувала дійсної вартості. В таких умовах знаходження оптимального шляху гарантовано. Умови можна інтерпретувати наступним чином: мета пошуку не буде досягнута, поки число переміщень менше числа шашок, що знаходяться не на своїх місцях.

Якщо $\hat{h}(n)$ вибрати по-іншому, наприклад $\hat{h}(n) = 0$, то при здійснюванні горизонтального пошуку на дереві станів системи розкриваються всі вершини нижчого рівня. В зв'язку з цим, відмітимо, що недетермінованість висновків є рисою, органічно притаманною інтелектуальним системам, тобто є неусувною компонентною нечіткості знань. Її слід враховувати при розробці ефективних способів подання і зберігання знань, а також при побудові алгоритмів пошуку та обробки знань, які дозволяють отримати рішення завдання найменшим числом кроків.

Для побудови таких алгоритмів зазвичай застосовують евристичні метазнання, тобто знання про знання. Багатозначність інтерпретації при цьому є звичайним явищем в завданнях розпізнавання. При розумінні природної мови серйозними проблемами стають багатозначність змісту слів, їх підпорядкованість, порядок слів у реченні і т.п. При комп'ютерній обробці бази даних (знань) багатозначність необхідно усувати шляхом вибору правильної інтерпретації, для чого розроблені спеціальні методи. Один з таких методів є метод релаксації, який призначений для систематичного усунення багатозначності при інтерпретації зображень [20]. Усунення багатозначності досягається за допомогою циклічних операцій фільтрації. Розглянемо приклад: розпізнавання комп'ютером чорно-білого зображення (рис. 4.3).

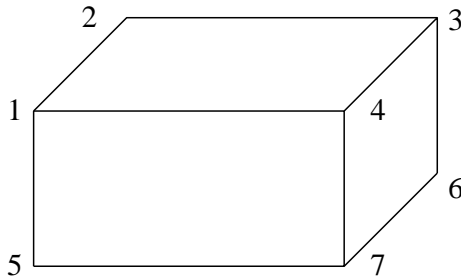


Рисунок 4.3 – Зображення, яке повинен розпізнати комп'ютер

Одним з етапів методу розпізнавання такого об'єкта є інтерпретація сенсу ліній. Для ідентифікації граней введемо такі мітки: (+) – опукла грань; (-) – увігнута грань; (\rightarrow) – праворуч від стрілки знаходиться видима поверхня [8-10].

Першим циклом у методі релаксації здійснюється "локальне бачення" кожної вершини. Інтерпретації вершин 1-7 показані на рис. 4.4.

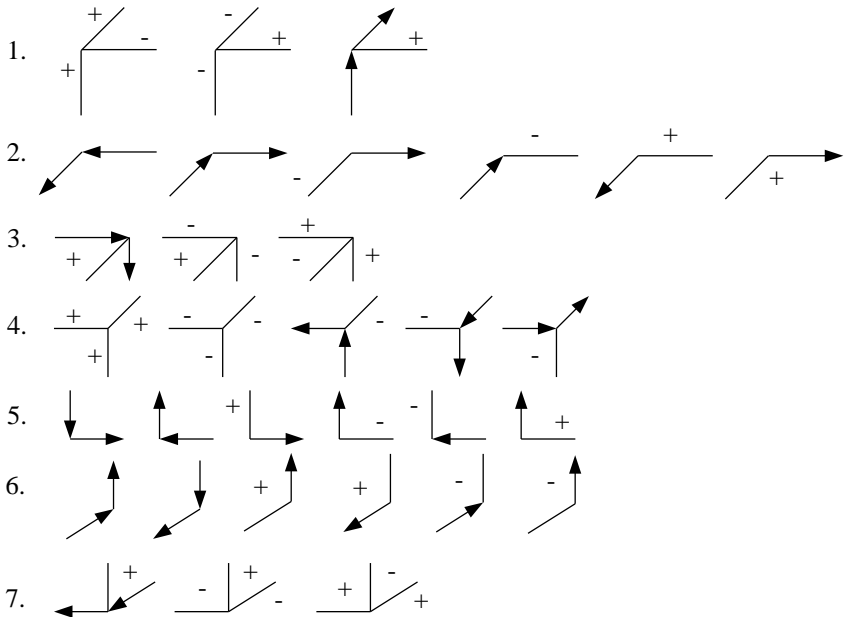


Рисунок 4.4 – Локальні інтерпретації вершин зображення

Якщо при інтерпретації заданого контуру (рис. 4.3) розглядати відразу дві сусідні вершини, то вони повинні мати спільну грань з однієї і тієї ж міткою, при цьому число варіантів інтерпретації зменшується. Інтерпретація вершин, для яких число варіантів змінилося, наведена на рис. 4.5.

Наведена операція (рис. 4.5) є фільтрацією, яка застосовується з метою усунення багатозначності [11, 12]. У розглянутому прикладі після одноразової фільтрації число інтерпретацій вершин скоротилося, тому процедуру фільтрації можна повторити. Критерієм закінчення ітераційного циклу в

даному методі є незмінність варіантів інтерпретації на двох послідовних ітераціях. Результат вторинного застосування фільтрації показано на рис. 4.6.

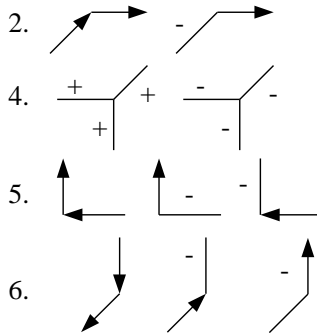


Рисунок 4.5 – Деякі локальні інтерпретації вершин зображенні з урахуванням зв'язків між ними

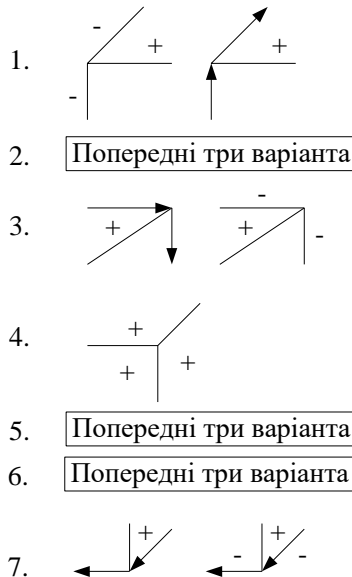


Рисунок 4.6 – Результат вторинної операції фільтрації

Подальше застосування фільтрації не призводить до скорочення числа вершин-кандидатів для інтерпретації. Решта їх дозволяють скласти чотири варіанти прямокутного паралелепіеда:

- вершина1 не прилягає до жодної з поверхонь;

– вершини 2, 3, 4 – прилеглі до поверхні однієї з трьох невидимих граней.

З іншими методами усунення багатозначності можна більш детально познайомитися в роботах [20, 21].

Для оцінки достовірності знань не можна застосувати двобальну шкалу через їх ненадійність: 1 – абсолютно достовірні; 0 – недостовірні знання. Для більш точної оцінки достовірності знань застосовується імовірнісний підхід, заснований на основі теореми Байєса [16, 20, 24].

Застосуванням методів нечітких множин при створенні та функціонуванні ІТС і ІВС, отримують нечіткі висновки, які будуються на базі нечіткої логіки. Зазначимо, що нечітка логіка впливає з теорії нечітких множин [11, 13, 17, 18]. У системах з нечіткими знаннями на "І"–"АБО"–графи зв'язків з'являється ще один тип зв'язку "КОМБ" – комбінований зв'язок. Фрагмент структури такого графа показано на рис. 4.7.

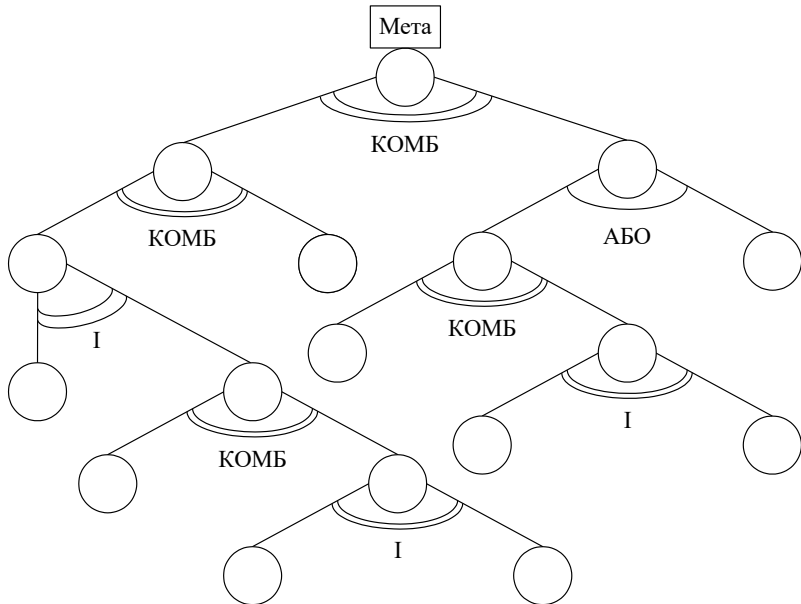


Рисунок 4.7 – Схематичне відображення фрагменту структури "І"–"АБО" – графа для системи з нечіткими знаннями

Якщо нечіткі знання об'єднані логічним оператором "І", то ступінь надійності укладення традиційно вибирається як мінімальне значення, а при об'єднанні логічним оператором "АБО" – як максимальне значення ступеня надійності. Зв'язок "КОМБ" означає, що висновок, заснований на фактах, що об'єднуються цим видом зв'язку як логічним оператором, буде отримано з оцінкою достовірності, що обчислюється тим чи іншим способом. Одним з видів оцінки достовірності знань є використання коефіцієнтів впевненості, які

застосовуються в експертній системі MYSIN й можуть набувати значень, що належать відрізку $[-1,1]$. При цьому 1 відповідає істинному, а -1 – невірному або хибному твердженню.

Коефіцієнт впевненості $(CF) >$ характеризує логічний оператор "КОМБ" при доведенні твердження А на основі посилань X і Y. Він обчислюється за допомогою однією з наступних формул:

$$CF[A,(X,Y)]=1, \text{ якщо } CF[A,X]=1 \text{ або } CF[A,Y]=1; \quad (4.2)$$

$$CF[A,(X,Y)]=CF[A,X]+CF[A,Y]-CF[A,X]CF[A,Y], \quad (4.3)$$

якщо $CF[A,X]>0$ і $CF[A,Y]>0$;

$$CF[A,(X,Y)] = \frac{CF[A,X] + CF[A,Y]}{1 - \min\{|CF[A,X]|, |CF[A,Y]|\}}, \quad (4.4)$$

якщо $CF[A,X]CF[A,Y]<0$, $CF[A,X] \neq \pm 1$ і $CF[A,Y] \neq \pm 1$;

$$CF[A,(X,Y)]=CF[A,X]+CF[A,Y]+CF[A,X]CF[A,Y], \quad (4.5)$$

якщо $CF[A,X]<0$ і $CF[A,Y]<0$;

$$CF[A,(X,Y)]=-1, \text{ якщо } CF[A,X]=-1 \text{ або } CF[A,Y]=-1. \quad (4.6)$$

Незважаючи на відсутність достатнього теоретичного обґрунтування, коефіцієнт впевненості знаходить широке застосування в ЕС продукційного типу. Завдяки простоті сприйняття і інтерпретації отриманих результатів, він непогано узгоджується з реальністю.

Імовірнісний підхід до оцінки надійності знань отримав у аналітиків широкий розвиток. Одним з таких підходів є баєсівський метод. Зв'язки між елементами знань в ньому не поділяються на типи. Замість цього кожному елементарному фрагменту знань (факт, представлена пара "атрибут-значення" або твердження) ставиться у відповідність мінімальне або максимальне значення баєсівської ймовірності. Після чого ступінь надійності отриманих висновків розраховуються як апостеріорні (умовні) ймовірності по формулах, отриманим на базі формули Байєсса.

Розглянемо більш детально цей підхід. Нехай $P(H)$ – ймовірність деякої гіпотези (висновку) при відсутності будь-яких свідчень, тобто апіорна ймовірність, що призначається експертом. В той час $P(H:E)$ – апостеріорна ймовірність гіпотези H при наявності факту E, обчислюється за формулою:

$$P(H:E) = \frac{P(H:E)P(H)}{P(E)}, \quad (4.7)$$

де $P(E)$ – ймовірність факту E, $P(E)=P(E:H)P(H)+P(E:\neg H)$; $P(E:H)$ – ймовірність наявності факту E за умови істинності гіпотези H; $P(E:\neg H)$ – ймовірність факту E за умови хибності (неістинності) висновку H. Значення цих ймовірностей, як правило, визначаються експертами і зберігаються в базі знань [22, 23].

Байєсівський підхід, який за своєю природою є суб'єктивним, набув широкого поширення завдяки простоті, а також достатності теоретичної обґрунтованості. В той час, він має невіршені проблеми: наприклад, сума ймовірностей спростовуючих одне одного подій може виявитися більше 1. Складним завданням для експертів є призначення апріорних ймовірностей умовних подій. Теоретичні дослідження в даному напрямку активно тривають. В розпорядженні проектувальників експертних систем вже є такі потужні засоби, як імовірнісна логіка [16, 19], нечітка логіка [11, 13, 17, 18], теорія Демпстера-Шафера [14, 19, 20] і т.п.

Оскільки абсолютно повних знань не буває, а процес пізнання нескінченний, то у зв'язку з цим стан бази знань має змінюватися з плином часу. Важливою особистістю та відмінністю між додаванням даних та знань є можливість отримувати контрверсійні (протирічні) висновки, що значно шкодить ефективності розроблених експертних систем. З використанням нових знань можуть спростовуватись висновки, що були отримані раніше. Якщо нові знання будуть знаходитись в протиріччі зі "старими", тоді механізм прийняття рішень може стати непрацездатним.

Багато ЕС першого покоління були засновані на моделі закритого типу, зумовлені застосуванням апарату формальної логіки для обробки знань. Ця модель передбачає жорсткий відбір знань, що включаються в базу, а саме: база знань заповнюється виключно вірними поняттями, а все, що ненадійно або невизначено, свідомо вважається неістинним (хибним). Вона має обмежені можливості подання знань і містить в собі небезпеку отримання протиріччя при додаванні нової інформації. До недоліків моделей закритого типу відноситься те, що логіка має умови, а саме набори аксіом (знань) в розроблених системах повинні бути повністю заповненими, тому що як стверджується у визначенні теорії в її загальному вигляді кожен факт, що вона окреслює можливо точно стверджувати спираючись на аксіому використаної теорії. Ця властивість логічних висновків характеризує монотонність. В той час досвід стверджує, що реальні знання, які закладаються в ЕС, вкрай рідко бувають повними.

В якості засобів формальної обробки неповних знань з необхідними немонотонними висновками, використовуються методи немонотонної логіки: немонотонна логіка Макдер Мотта і Доула, в якій вводяться умовні логічні операції; логіка умовчання Рейтера; немонотонна логіка Маккарті і т.п. [14, 19, 20]. Багато з них ще не повністю розроблені, але вони вже знайшли застосування в практичних розробках: перевірка і врахування несуперечності елементів знань; встановлення значень за замовчуванням у фреймових системах.

Для організації логічних висновків в ІС з неповними знаннями замість традиційної дедукції застосовується абдукція [12]. Абдукція – це процес формування знань, який пояснює гіпотези на основі заданої теорії і наявних спостережень (фактів). Метою абдуктивного доведення є формування одного або більше пояснень Δ спостережуваного факту G на основі інформації, що зберігається в базі знань ІС. Пояснення Δ повинно бути таким, щоб $T \Delta \vdash G$ і

щоб $T \cup \Delta$ були несуперечливі. Спостереження G можна вивести з теорії T лише при її розширенні деякою множиною гіпотез Δ . В більшості випадків абдуктивні гіпотези вибираються заздалегідь із визначеної множини пропозицій, що відображають певний аспект знань конкретної предметної області. Теорію T можна розглядати як основу всіх можливих розширень $T \cup \Delta$ для кожної абдуктивної гіпотези.

Абдуктивні висновки використовуються в завданнях діагностики стану ІС для виявлення причин спостережуваної неправильної її поведінки, пов'язаних з вирішенням проблем накопичення і засвоєння інформації (знань). Для роботи з неповною інформацією призначена також система підтримки значень істинності, в якій вона поділяється на достовірну і недостовірну. При цьому передбачається систематичне впорядкування БЗ з метою усунення недостовірної інформації (знань). Достовірні на даний момент інформація (знання) відносять до класу IN, а сумнівні і недостовірні – до класу OUT. У випадку доповнення нових даних або інформації (знань) з'являється протиріччя, необхідно здійснити перевірку та аналіз класів знань. При цьому можливі їх міграції з класу в клас [19, 20, 24], якщо виникає суперечність.

Дослідження в області немонотонних висновків - це спроби розширити межі формальної логіки, в які не вписуються реальна інформація (знання), що необхідна ІС. Відомо, що кількісні дані (знання) можуть бути неточними. При цьому існують кількісні оцінки такої неточності: довірчий інтервал, рівень значущості, ступінь адекватності і т.д. Лінгвістичні знання також можуть бути неточними. Щоб врахувати не точно виражені експертні знання необхідно застосовувати інструменти нечітких множин [25]. Основоположною цієї теорії Л.Заде стверджує, що фактично нечіткість може бути ключем до розуміння здатності людини справлятися із завданнями, які занадто складні для їх вирішення. Розвиток прикладної дискретної математики [26] сприяв, додаткових досліджень в напрямку нечіткої логіки. В даному напрямку використовуються данні та інформація (знання), які подаються у вигляді нечітких множин та відносин між ними на виході можливо отримати нечіткі висновки.

4.2 Нечіткі множини та нечіткі висновки

Лінгвістичні оцінки, як і кількісні вимірювання, можуть бути неточними. Якщо U – повна множина об'єктів деякого класу, то нечітка її підмножина F в подальшому виступає нечіткою множиною. Вона визначається через функцію приналежності $\mu_F(u)$, $u \in U$. Ця функція відображає елементи U_i множини U на множину дійсних чисел $[0, 1]$, які вказують ступінь приналежності кожного елемента нечіткій множині F .

Якщо повна множина U складається з кінцевого числа елементів $u_i = 1, 2, \dots, n \in U$, то нечітку множину F можна представити наступним чином:

$$F = \mu_F(u_1)/u_1 + \mu_F(u_2)/u_2 \dots + \mu_F(u_n)/u_n, \quad (4.8)$$

де знак + означає не додавання, а скоріше об'єднання, а символ / показує, що значення $\mu_F(u_i)$ відноситься до елементу u_i , а не означає розподіл u_i . У разі якщо множина U є безперервною, то множину F можна записати як інтеграл: $F = \int \mu_F(u) / u$.

Над нечіткими множинами, як і над звичайними, можна виконувати ряд математичних операцій. Найважливіші з них: доповнення множин, об'єднання і перетин множин. Розглянемо це в аналітичному вигляді:

– операція доповнення:

$$F = \sum_{i=1}^n (1 - \mu_F(u_i)) / u_i, \quad \mu_{\bar{F}}(u_i) = 1 - \mu_F(u_i); \quad (4.9)$$

– операція об'єднання:

$$F \cup G = \sum_{i=1}^n (\mu_F(u_i) \vee \mu_G(u_i)) / u_i, \quad \mu_{F \cup G}(u) = \mu_F(u) \vee \mu_G(u), \quad (4.10)$$

де операція \vee відповідає виявленню;

– операція перетину:

$$F \cap G = \sum_{i=1}^n (\mu_F(u_i) \wedge \mu_G(u_i)) / u_i, \quad \mu_{F \cap G}(u) = \mu_F(u) \wedge \mu_G(u); \quad (4.11)$$

де символ \wedge показує мінімум.

При цьому симетрична різниця дорівнює:

$$F \Delta G = (F \cup G) \cap (\bar{F} \cup \bar{G}) = D(\mu_F(u), \mu_G(u)); \quad (4.12)$$

$$D(\mu_F(u), \mu_G(u)) = \sum_{i=1}^n \{\min[\max \mu_F(u), \mu_G(u)]\}; \quad (4.13)$$

$$\max[(1 - \mu_F(u_i)), 1 - \mu_G(u_i)] / u_i. \quad (4.14)$$

Елементи інформації (знань) пов'язані один з одним відношеннями різного роду. Часто ці відношення задані у вигляді текстових описів або правил, які необхідно формалізувати для реалізації нечітких висновків [27]. Нечітким відношенням R між повною множиною U і іншою повною множиною V є нечітка підмножина прямого декартового добутку $U \times V$:

$$R = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \mu_R(u_i, v_j) / (u_i, v_j), \quad (4.15)$$

де $U = \{u_1, u_2, \dots, u_l\}$, $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$.

Якщо між елементами знань, представлених нечіткими множинами F і G , існує зв'язок, заданий правилом: "ЯКЩО F , ТО G ", то при цьому $F \in U$, $G \in V$. Один із способів побудови нечітких відносин між F та G , є реалізація імплікації $F \rightarrow G$:

$$R = FxG = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m (\mu_R(u_i) \wedge \mu_G(u_j)), \quad \mu_R(u, v) = \mu_F(u) \wedge \mu_G(v), \quad (4.16)$$

Як приклад можливо представити дві множини U і V , які в себе включатимуть числа в діапазоні 1...4. Розглянемо поняття "малі числа" і "великі числа" з допомогою нечітких множин F і G :

$$U = V = \{1, 2, 3, 4\};$$

$$F = \frac{1}{1} + \frac{0.6}{2} + \frac{0.1}{3};$$

$$G = \frac{0.1}{2} + \frac{0.6}{3} + \frac{1}{4}.$$

Нехай задано правило: "ЯКЩО u – мале число, ТО v – велике". Відповідне нечітке відношення $R = FxG$, при цьому має вигляд:

$$R = \begin{array}{c} \longrightarrow u_i \\ \left(\begin{array}{cccc} 0 & 0.1 & 0.6 & 1 \\ 0 & 0.1 & 0.6 & 0.6 \\ 0 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \downarrow v_j .$$

Нечіткі відношення мають наступні властивості:

- об'єднання: $(R \cup S)(u, v) = R(u, v) \vee S(u, v), u \in U, v \in V$;
- перетин: $(R \cap S)(u, v) = R(u, v) \wedge S(u, v), u \in U, v \in V$;
- операційні включення: $R \subseteq S \leftrightarrow R(u, v) \leq S(u, v), u \in U, v \in V$;
- властивості поглинання: $R \cap R = R, R \cup R = R$;
- комутативність: $R \cap S = S \cap R, R \cup S = S \cup R$;
- асоціативність: $R \cap (S \cap Q) = (R \cap S) \cap Q, R \cup (S \cup Q) = (R \cup S) \cup Q$;
- дистрибутивність: $R \cap (S \cup Q) = (R \cap S) \cup (R \cap Q), R \cup (S \cap Q) = (R \cup S) \cap (R \cup Q)$;
- рефлексивність: якщо $\mu_R(u, u) = 1$, то відношення R – рефлексивне; якщо $\mu_R(u, u) < 1$, то відношення R – слаборефлексивне; якщо $\mu_R(u, u) = 0$, то відношення R – антирефлексивне; якщо $\mu_R(u, u) > 1$, то відношення R – слабоантирефлексивне;

– симетричність: $\mu_R(u, v) = \mu_R(v, u), u, v \in U$;

– транзитивність: $\mu_R(u, v) \geq \mu_R(v, u) \wedge \mu_R(z, v), u, v, z \in U$.

Якщо інформація (знання) представлені за допомогою нечітких множин та нечітких відношень, то при реалізації логічних висновків, при прийнятті рішень в нечіткому середовищі, необхідно мати можливість застосування сукупності правил [28]. Оскільки знання у вигляді правил

формалізуються нечіткими відношеннями, то потрібно вміти будувати та використовувати їх композиції, які можливо виконуватися за допомогою операції максимінної згортки.

Якщо R – нечітке відношення з області U в область V , а S – нечітке відношення з області U в область W , то нечітке відношення з області U в область W визначають як згортку вигляду:

$$R \circ S = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m v \in V \vee (\mu_R(u_i, v_j) \wedge \mu_S(v_j, w_k)) / (u_i, w_k). \quad (4.17)$$

Розглянемо застосування максимінної згортки. Нехай R – нечітке відношення між множинами U і V – сукупностями натуральних чисел від 1 до 4. Семантика відношення R відповідає правилу: "ЯКЩО u – малі числа, ТО v – великі". Конкретне значення цього відношення візьмемо з попереднього прикладу. Визначимо відношення S з V в W . З цією метою на множині V визначимо поняття "немалі числа", яке буде доповненням введеної раніше нечіткої множини F , і позначимо її $F1$. Введемо множину $W = \{1, 2, 3, 4\}$ і визначимо на ній поняття "дуже великі числа", яке позначимо H . До цього поняття числа 1 і 2 мають ступінь приналежності, що дорівнює 0, число 3 має значення приналежності 0.5, і тільки 4 належить до ступеня, що дорівнює 1:

$$\mu_{F1}(v) = \frac{0}{1} + \frac{0.4}{2} + \frac{0.9}{3} + \frac{1}{4};$$

$$\mu_H(w) = \frac{0.5}{3} + \frac{1}{4}.$$

Відношення між повними множинами V і W сформулюємо у вигляді правила: "ЯКЩО v – невеликі числа, ТО w – дуже великі числа". Побудуємо нечітке відношення S , відповідне до цього правила декартового добутку $F1$ і H :

$$S = \begin{array}{c} \xrightarrow{u_i} \\ \left| \begin{array}{cccc} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4 & 0.4 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.9 \\ 0 & 0 & 0.5 & 1 \end{array} \right| \downarrow v_j \end{array}$$

Обчислимо максимінну згортку нечітких відношень $R \circ S$, результат якої відповідатиме послідовному застосуванню двох правил: "ЯКЩО u – мале число, ТО v – велике"; "ЯКЩО v – невелике число, ТО w – дуже велике":

$$R \cdot S = \begin{array}{c} \begin{array}{c|ccc|ccc} 0 & 0.1 & 0.6 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0.6 & 0.4 & 0 & 0 & 0.4 & 0.4 \\ 0 & 0.1 & 0.1 & 0.9 & 0 & 0 & 0.5 & 0.9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 1 \end{array} \cdot \begin{array}{c|ccc|ccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4 & 0.4 & 0 & 0 & 0.4 & 0.4 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.9 & 0 & 0 & 0.5 & 0.9 \\ 0 & 0 & 0.5 & 1 & 0 & 0 & 0.5 & 1 \end{array} \end{array} \xrightarrow{u_i} \begin{array}{c|ccc|ccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4 & 0.4 & 0 & 0 & 0.4 & 0.4 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.9 & 0 & 0 & 0.5 & 0.9 \\ 0 & 0 & 0.5 & 1 & 0 & 0 & 0.5 & 1 \end{array} \downarrow w_k .$$

При парних порівняннях елементів i -го рядка j -го стовпця з них вибирається найменший, потім з чотирьох мінімальних елементів вибирається максимум, який є результатом, і записується в комірку з координатами (i, j) . Резульгуюче нечітке відношення показує взаємозв'язок множин U і W . Взагалі над нечіткими відношеннями можна виконувати операції згортки інших видів: мінімаксна; максимумплікативна та ін. [13].

Розглянемо традиційний дедуктивний висновок, заснований на застосуванні правила доведення Modus Ponens (MPP), в середовищі нечіткої інформації (знань). В середовищі нечіткої інформації факт A і зразок правила A^* не обов'язково повинні завжди і всюди збігатися. Це стосується фактів представлених нечіткими множинами, які є підмножинами повних знань, а правила – нечіткими відношеннями, які є підмножинами декартових добутоків повних множин [29]. Якщо A і A^* близькі один до одного, то їх можна зіставити і отримати висновок B^* в сфері їх збігу. Композиційне правило доведення в середовищі нечіткої інформації (знань) базується на операції максимінної згортки і має вигляд: $B^* = A^* \cdot R$, де R – нечітке відношення, відповідне імплікації $A \rightarrow B$, а B^* – наближений висновок, виражений нечіткою множиною:

$$\mu_B(v) = \sum_{i=1}^m v(\mu_A(u_i) \wedge \mu_R(u_i, v_j)) / (v_j). \quad (4.18)$$

Використовуючи значення з попередніх прикладів, продемонструємо реалізацію цього висновку. Нехай F і G – нечіткі множини, відповідні поняттям "малі числа" і "великі числа" і є підмножинами повних множин $U=V=\{1, 2, 3, 4\}$. При цьому функції приналежності множин F і G мають вигляд:

$$\mu_F(u) = \frac{1}{1} + \frac{0.6}{2} + \frac{0.1}{3};$$

$$\mu_G(v) = \frac{0.1}{2} + \frac{0.6}{3} + \frac{1}{4}.$$

Нехай також задано правило $F \rightarrow G$: "ЯКЩО u – малі числа, ТО v – великі", яке формалізоване нечітким відношенням R :

$$R = \begin{pmatrix} 0 & 0.1 & 0.6 & 1.0 \\ 0 & 0.1 & 0.6 & 0.6 \\ 0 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

В якості вихідного посилання задано факт " u – число біля 2", представлений нечіткою множиною $F1 \in U$ з функцією приналежності

$$\mu_{F1}(u) = \frac{0.3}{1} + \frac{1}{2} + \frac{0.3}{3}.$$

Використовуючи композиційне правило висновку, сформулюємо відповідь на питання: "Що являє собою v , якщо u – число близьке 2, і, якщо області U і V пов'язані відношенням R ".

$$G1 = F1 \cdot R = \begin{pmatrix} 0.3 & 1.0 & 0.3 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 & 0.1 & 0.6 & 1.0 \\ 0 & 0.1 & 0.6 & 0.6 \\ 0 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0.1 & 0.6 & 0.6 \end{pmatrix}.$$

Використовуючи отримані дані функції приналежності, графічна інтерпретація результату нечіткого висновку наведена на рис. 4.8.

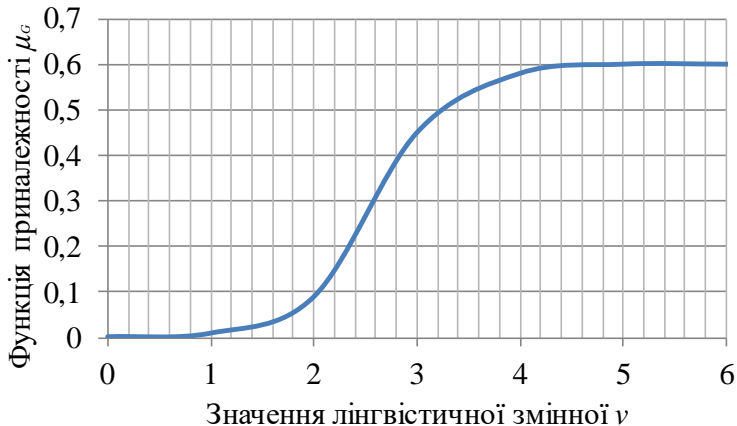


Рисунок 4.8 – Залежність функції приналежності результату нечіткого висновку від значень лінгвістичної змінної

Отримані дані свідчать, що до даної функції приналежності $\mu_G(v)$ можливе застосування лінгвістичної інтерпретації: " v – не дуже велике число" або " v – до деякої міри велике число".

4.3 Комп'ютерна обробка нечіткої інформації (множини знань) про стан і поведінку інтелектуальних систем

Метод обробки нечіткої інформації та множини знань, враховує невизначеності шляху вирішення завдань в просторі станів інтелектуальних систем. Такий метод можливо реалізувати в простому вигляді комп'ютерної програми, яка може динамічно співпрацювати з користувачем в позиційному гру.

Нехай маємо реверс-логічну гру, розраховану на двох учасників, які грають на дошці розміром 8×8 фішками різного кольору. Учасники починають гру, маючи по дві фішки, які стоять в центрі дошки по діагоналі один від одного. В процесі гри відбуваються ходи, в результаті яких число фішок збільшується. Мета кожного гравця полягає в тому, щоб до моменту закінчення гри число його фішок переважало над числом фішок супротивника. Зазначено, що у грі прийняті наступні правила:

- при черговому ході фішку можна ставити на вільну клітину в будь-якому напрямку, але обов'язково поряд хоча б з однією з фішок супротивника;
- фішка повинна ставитися так, щоб хоча б одна з фішок супротивника виявилася замкнутою своїми фішками, замкнуті фішки супротивника змінюють колір і стають своїми;
- фішки можуть міняти колір, але не переміщатися на дошці (полю);
- фініш гри виконується, коли ігрове поле повністю заповнене, або на ньому є фішки лише одного кольору, або гравці не мають можливості далі виконати хід [30, 33].

Можливі ігрові позиції наведені на рис. 4.9.

Для комп'ютерного гравця при цьому постають наступні завдання:

- виділення та представлення об'єктів гри;
- реалізація операцій, відповідних правил переміщення і зміни об'єктів;
- побудова правил прийняття рішень при виборі ходу;
- управління послідовністю гри.

Об'єктами в даній грі є вільна клітина і зайняті клітини двох кольорів білої і чорної. Над об'єктами відбуваються операції-ходи, які полягають в занятті вільної клітини відповідно до заданих правил. Зміна кольору однієї або декількох клітин є результатом ходу. Інтелект комп'ютерного гравця проявляється в процесах прийняття рішень. Для вибору ходу можна застосовувати набір правил або оцінну функцію, значення якої буде відображати його доцільність. В такому завданні створені дві функції, що оцінюють рівень професійності гравця.

При мінімальному рівні хід, що не дає змогу враховувати та передбачати дії гравців.

Оцінна функція має вигляд:

$$\max_{Q \in X \times Y} R(x, y) = \sum_{i=1}^n s_i + ss, \quad (4.19)$$

де $x, y = 1, \dots, 8$ – координати клітини, в яку можна зробити хід;
 $Q \in X \times Y$ – підмножина повної множини клітин $X \times Y$, на які можна поставити чергову фішку; n – число замкнених клітин; s_i – цінності i -ї замикає клітини; ss – цінності клітини, на яку здійснюється хід.

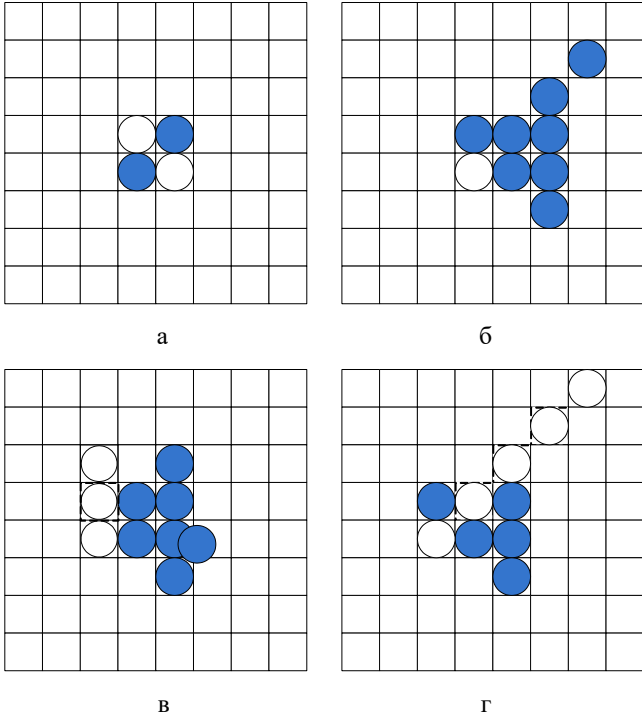


Рисунок 4.9 – Позиції гри РЕВЕРСИ: а – початкова; б – поточна Q ; в, г – можливі ходи білої фішки з поточної позиції

Значення s_i і ss обчислюються на основі наступних емпірично підібраних констант:

- $s_i = 2$ для кромочної клітини поля, які можуть бути замкнуті тільки уздовж кромки дошки, тому вони краще внутрішніх клітин;
- $s_i = 1$, для інших клітин;
- кутові клітини поля не можуть бути замкнуті, вони є найбільш цінними для захоплення;
- $ss = 0.8$, якщо хід відбувається на кутову клітку;
- $ss = 0.4$, якщо хід відбувається на кромочну клітку;
- $ss = 0$ для всіх інших клітин.

Аналіз можливості ходу здійснюється наступним чином. Визначаються всі вільні клітини, що є сусідами з фішками противника, і для них

обчислюється значення $R(x,y)$. Клітини, для яких $R(x,y) < 1$, відкидаються, як ті, що не відповідають умовам гри. Хід відбувається на клітку з максимальним значенням $R(x,y)$. Якщо таких клітин кілька, вибирається перша – ліпша [31].

На рівні професіонала ПК аналізує хід, який може зробити супротивник. Оцінна функція можливого ходу R в даному випадку обчислюється як різниця між можливим виграшем чергового ходу і можливим програшем при наступному ході супротивника:

$$\max_{Q \in XxY} R(dep = 0, x, y) = \left\{ \sum_{i=1}^n s_i + ss - \max_{Q1 \in XxY} [R(dep = 1, x_1, y_1)] \right\}, \quad (4.20)$$

де x_1, y_1 – можливі координати фішки після ходу людини, після ходу ПК з координатами фішки x, y . Параметр dep вказує на гравця, для якого обчислюється оцінка ефективності ходу. Нульове значення відповідає ходу ПК; $dep = 1$ – обчисленню ефективності ходу, який може зробити супротивник (людина). Управління грою полягає в ініціалізації вихідної позиції і відстеження поточної ситуації, що включає ряд перевірок на можливість здійснення поточного ходу, на передачу ходу, на наявність вільних клітин, а також на зміну кольорів фішок і видачу поточних повідомлень, в тому числі про закінчення гри і її результати.

Зазначене свідчить про суттєву перевагу застосування тактики, яка враховує ймовірні ходи супротивника. Експерименти зі збільшенням глибини перегляду ймовірних ходів ПК і людини показали, що "заглядати" далі ніж на два ходи не має сенсу, оскільки досвідчені гравці свідомо перешкоджають розігруванню ПК комбінаціям, а недосвідчені роблять те ж саме, не розуміючи цілей комп'ютерного гравця [32].

4.4 Нечітка логіка при формуванні нечіткого логічного висновку в завданнях прийняття рішень, діагностики і прогнозування в інтелектуальних системах

Нечітка логіка здатна формувати нечіткий логічний висновок на множині правил, заданих користувачем. Обчислення в процесі логічного висновку можуть бути реалізовані різними способами. Система виконує логічні висновки на основі нечіткої композиції - аналог Modus Ponendo Ponens в середовищі нечітких знань та нечітких множин:

$$B^* = A^* \cdot R, \quad (4.21)$$

де B^* – наближений висновок; A^* – нечітке уявлення вихідного факту; R – нечітке відношення, що відповідає імплікації виду $A \rightarrow B$.

Міра близькості сформованого висновку B^* до еталонного образу B визначається візуально або за допомогою скалярного індексу подібності нечітких множин B і B^* , що обчислюється за формулою [8]:

$$S_k(B, B^*) = \frac{|B \cap B^*|}{|B \cup B^*|}, \quad (4.22)$$

де операція $|B|$ визначає скалярну потужність нечіткої множини B , заданої на базовій множині U :

$$|B| = \sum_{u \in U} \mu_B(u). \quad (4.23)$$

В інтелектуальній системі допускається організація правил з одним виходом "ЯКЩО A , ТО B " і правил з двома виходами "ЯКЩО A , ТО B , ІНАКШЕ C ". При цьому A є антецедентом, B – консеквантом. Антецедент представляється логічним виразом, що має складну форму, яка включає процедури заперечення, кон'юнкції, диз'юнкції

Для обчислення нечіткого відношення R на нечітких множинах використовуються вирази:

$$A = \int_U \mu_A(u)/u; \quad B = \int_V \mu_B(v)/v \quad \text{і} \quad C = \int_V \mu_C(v)/v. \quad (4.24)$$

При цьому використовуються наступні способи [4,8,9]:

1. Імплікація Мамдані для правил з одним виходом:

$$R = \int_{U \times V} (\mu_A(u) \wedge \mu_B(v))/ (u; v). \quad (4.25)$$

2. Максимальне правило з одним виходом:

$$R = \int_{U \times V} ((\mu_A(u) \wedge \mu_B(v)) \vee (1 - \mu_A(u)))/ (u; v). \quad (4.26)$$

3. Максимальне правило з двома виходами:

$$R = U \times V ((\mu_A(u) \wedge \mu_B(v)) \vee (1 - \mu_A(u)))/ (u; v);$$

$$R = \int_{U \times V} (((\mu_A(u) \wedge \mu_B(v)) \vee (1 - \mu_A(u) \wedge \mu_C(v)))/ (u; v). \quad (4.27)$$

4. Бінарне правило з одним виходом:

$$R = \int_{U \times V} (((1 - (\mu_A(u) \vee \mu_B(v))) \wedge (\mu_A(u)))/ (u; v). \quad (4.28)$$

5. Бінарне правило з двома виходами:

$$R = \int_{U \times V} (((1 - (\mu_A(u) \vee \mu_B(v))) \wedge (\mu_A(u) \vee \mu_C(v)))/ (u; v). \quad (4.29)$$

6. Імплікація Лукасевича для правил з одним виходом:

$$R = \int_{U \times V} (1 \wedge (1 - (\mu_A(u) + \mu_B(v)))) / (u; v). \quad (4.30)$$

7. Імплікація Лукасевича для правил з двома виходами:

$$R = \int_{U \times V} ((1 \wedge (1 - (\mu_A(u) + \mu_B(v)))) \wedge (\mu_A(u) + \mu_C(v))) / (u; v). \quad (4.31)$$

8. Імплікація Геделя для правил з одним виходом:

$$R = \int_{U \times V} (\mu_A(u) \xrightarrow{g} \mu_B(v)) / (u; v), \quad (4.32)$$

$$\text{де } (\mu_A(u) \xrightarrow{g} \mu_B(v)) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \mu_A(u) \leq \mu_B(v) \\ 0, & \text{якщо } \mu_A(u) > \mu_B(v) \end{cases}.$$

9. Імплікація Геделя для правил з двома виходами:

$$R = \int_{U \times V} (\mu_A(u) \xrightarrow{g} \mu_B(v)) \wedge (1 - \mu_A(u) \xrightarrow{g} \mu_C(v)) / (u; v). \quad (4.33)$$

Узагальнений алгоритм нечіткого висновку включає наступні кроки:

1. Користувач заповнює базу знань, вводючи лінгвістичні змінні, зразки (еталони) її значень подаються у вигляді функцій приналежності і відповідного правила.

2. З бази знань вибираються правила, які беруть участь у сукупності висновків.

3. Для чергового правила з бази знань витягуються значення логістичних змінних, присутніх в антецедентному правилі. Користувачеві надається можливість в графічному режимі ввести функції приналежності, що відповідають вихідним фактами, або змінити еталонні множини з бази знань.

4. Результат застосування правила виводиться на монітор ПК разом з еталонними значеннями можливих висновків.

5. Користувачеві надається можливість збереження отриманого результату в базі знань, щоб в подальшому брати участь у доведеннях на наступних етапах.

6. Для аналізу правил розраховується нечітке співвідношення при використанні нормованих функцій приналежності.

Зазначимо, що при цьому в системі передбачено два способи обчислення кон'юнкції: мінімум і добуток. Бінарні нечіткі операції в антецеденті виконуються після операції композиції над аргументами. Для правила виду "ЯКЩО A_1 і A_2 , ТО B " спочатку обчислюється нечітка множина F , яка є композицією, що надійшла в систему факту A_1^* і правила "ЯКЩО A_1 ТО B ", то множина F_2 , відповідає композиції факту A_2^* з правилом "ЯКЩО

A_2 , то B ". Множина B^* відповідає отриманому висновку і визначається як результат об'єднання нечітких множин F_1 і F_2 , тобто $\mu_{B^*}(v) = \max\{\mu_{F_1}(v), \mu_{F_2}(v)\}$. Якщо в антецедента правила присутні операція АБО, то нечітка множина B^* визначається як результат перетину нечітких множин F_1 і F_2 , тобто $\mu_{B^*}(v) = \min\{\mu_{F_1}(v), \mu_{F_2}(v)\}$. Обчислення нечітких відношень, відповідних імплікації, проводиться способом, який вибрав користувач.

7. Якщо в реалізованій послідовності ще є правила, то здійснюється перехід на крок 3, інакше висновок завершено.

Інформація про лінгвістичні змінні та їх значення, що зберігаються в базі знань, включає посилання на масиви точок, за якими будуються функції приналежності, а також відомості про використаний тип інтерполяції (лінійна або сплайнова). У базі знань передбачено зберігання не тільки еталонних зразків значень лінгвістичних змінних, а й останніх версій зразків реальних фактів, які надійшли на вхід системи. Доступна інформація стосовно баз правил має посилання на дані, змінні та логічні операції, що використовуються в розроблених системах.

Дослідження способів обчислення імплікації показало, що в переважній більшості випадків результати, отримані різними способами, дозволяють правильно судити про наближену істинність або хибність виведених понять. Разом з тим практично у всіх прикладах мають місце відмінності в результатах, які посилюються тим більше, чим більше реальні факти відрізняються від еталонних. Неможливо рекомендувати один спосіб обчислення як більш правильний. Питання про втрати точності в процесах багатокрокових логічних висновків вимагає подальшого дослідження, оскільки в нечіткій логіці результат висновку на кожному правилі вимагає співвіднесення зі зразком справжнього або протилежного йому судження. Це завдання вирішує користувач, або це здійснює сама система на основі оцінки ступеня схожості. У випадках, де заходи подібності у двох випадках близькі один до одного, то є значні шанси на помилку, яка значно впливає на кінцевий результат. У подібних ситуаціях доцільним є віднесення отриманого результату до обох класів понять і реалізація двох версій міркування [34].

Остаточо зазначимо, що нечітка логіка не передбачає структуризації закладених в неї знань. Це призводить до обмеження вирішуваних завдань і створення певних незручностей для користувача. Тому він сам повинен підбирати необхідну групу правил під час розв'язання певного завдання. Користувач бере участь у процесі прийняття рішення, пов'язаного з інтерпретацією отриманих результатів. Дана структура системи має деякі переваги, які дають змогу розв'язати низку проблем:

1. Знімається проблема несумісності суперечливих знань в рамках єдиної системи логічного типу.
2. В процесі розгляду не бере і не обробляється зайва інформація.
3. Система лояльна до сприйняття нових знань.

4. Кількість правил їх наборів збільшується, що дає змогу детальніше представити процес висновку.

Перелік вирішувальних проблем, що мають позитивні властивості, дозволяє висунути гіпотезу про доцільність організації бази знань зі змінною структурою у транспортних та виробничих системах, які повинні включати діалогову компоненту, призначену для різних варіантів структурування знань, а також цінність перевірки на несуперечливість сформованих структур.

4.5 Прогнозування розвитку інтелектуальних транспортних та виробничих систем на основі нечіткої логіки

Розглянемо поточний стан транспортних або виробничих систем та прогнозування їх розвитку на найближче майбутнє. Великі зарубіжні підприємства і фірми ведуть постійний моніторинг зміни навколишнього середовища, відстежують тенденції і розробляється політика досягнення ними бажаного майбутнього. При управлінні стратегічного типу підприємства справляються з можливими кризовими ситуаціями до їх настання, приймаючи попереджувальні заходи. Звісно, що цей шлях є стратегічним і найбільш перспективним, однак він вимагає істотних витрат, які не можуть собі дозволити малі підприємства. Інший підхід полягає в проведенні оперативного аналізу стану підприємства (фірм) і основних факторів зовнішнього середовища, а також у своєчасному прийнятті адекватних рішень. Цей спосіб активного управління прийнятий при високій динамічності факторів зовнішнього середовища. Він вимагає від керівників здатності діяти швидко і рішуче. Антикризові заходи вступають в дію під час погіршення фінансового та виробничого стану фірми, компанії, підприємства. Третій спосіб є найбільш складний для управління. Він не потребує використовувати заходи при аналізі та прогнозуванні. При цьому заходи вживаються після того, як стан підприємства істотно погіршився.

Розглянемо як системи з нечітким поданням знань можуть виявитися корисними при активному управлінні транспортним або виробничим підприємством, фірмою. При цьому вирішуються наступні завдання:

- діагностика поточного стану підприємства;
- прогнозування стану підприємства на найближче майбутнє;
- розроблення рекомендацій для досягнення бажаного стану підприємств в майбутньому.

Інформація (знання) в системі станів підприємств, фірм представлені у вигляді правил, що містять вирази з лінгвістичними змінними, значення яких відповідають нечітким множинам. Для вирішення кожного виду завдань повинні бути сформовані набори правил, коригування яких можливе користувачем. Правила діагностики стану підприємства, фірми, включають лінгвістичні змінні, які відображають тенденції, значення або експертні оцінки основних показників: стадії життєвого циклу; форми власності; технологічна і технічна оснащеність; спрямованість потоків сировини, комплектуючі і готова продукція (експорт-імпорт); відносна прибутковість;

рентабельність; ліквідність; вартість капіталу; співвідношення власних і позичкових коштів; оборотність коштів; диверсифікація продукції і т.д.

На основі аналізу нечітких значень показників здійснюється нечітка оцінка поточного стану підприємства, фірми, яка використовується в процесі прогнозування майбутнього стану. При цьому використовується інший набір правил прогнозування, що включають інформацію про ресурси, політику і стратегію підприємства, а також про спостережувані і передбачувані зміни зовнішніх факторів. Результати прогнозування можуть мати умовний характер, тобто можливість переходу в певний стан, залежний від ряду умов. Завдання вибору заходів, спрямованих на досягнення сприятливого стану підприємств, фірм, в майбутньому, вирішується з використанням набору правил, що включають значення оцінок поточного і бажаного станів.

Наведемо можливий набір правил для діагностики стану транспортного або виробничого підприємства, фірми:

1. ЯКЩО відносна прибутковість підприємства, фірми R_{ij} спадає до критичного рівня (Critical), ТО його ціна (EtnCost) зменшується (Fall), ІНАКШЕ ціна (EntCost) залишається стабільною (Constant).

2. ЯКЩО R_P зростає (Raise), ТО EntCost збільшується (Grow).

3. ЯКЩО R_P падає (Reduce, Critical), ТО вартість акцій (ActCost) знижується (Fall), ІНАКШЕ ActCost = Constant.

4. ЯКЩО R_P спадає (Reduce, Critical), ТО ризик втрати капіталу (Risk) зростає (Up), ІНАКШЕ Risk = Constant.

5. ЯКЩО ціна підприємства, фірми, спадає (EntCost = Fall) І сумарні зобов'язання кредиторам (CreditPay) великі (Large), ТО капітал акціонерів зменшується (Capital = Fall), ІНАКШЕ Capital = NotFall.

6. ЯКЩО вартість акцій спадає (ActCost = Fall) І ризик зростає (Risk = Up), ТО можливості кредитування (CreditTake) зменшуються (Fall).

7. ЯКЩО прибутковість підприємства, фірми, спадає ($R_P = Reduce$, Critical) І зменшується кредитування (CreditTake = Fall), ТО можливий дефіцит коштів (Deficit = Yes), ІНАКШЕ Deficit = No.

8. ЯКЩО є дефіцит коштів (Deficit = Yes) І акціонерний капітал зменшується (Capital = Fall), ТО підприємство, фірма, знаходиться в стані технічної неплатоспроможності (StateEnt = TechCrisis).

9. ЯКЩО EntCost = Constant І Capital = NotFall ТО StateEnt = Norma, ІНАКШЕ StateEnt = TechCrisis.

10. ЯКЩО знизився капітал акціонерів (Capital = Fall) І капітал кредитування (CreditTake = Fall), І об'єм позикового капіталу значний (CreditMeans = Large), ТО підприємство, фірма, кризовій ситуації (StateEnt = Crisis).

11. ЯКЩО EntCost = Constant і Deficit = No, ТО StateEnt = Norma.

12. ЯКЩО EntCost = Grow і Deficit = No І CreditPay = NotLarge, ТО StateEnt = Growth.

В процесі логічного висновку на заданій послідовності правил впливають нечіткі значення лінгвістичних змінних, які за вибором користувача записуються в базі знань для здійснення подальших кроків

висновку, а також для прогнозування. При цьому можуть використовуватися правила з одним виходом або з двома. Прості правила містять антеcedент, що включає тільки одне значення лінгвістичних змінних. Складні правила можуть містити нечіткі операції заперечення, кон'юнкції і диз'юнкції [35].

На рис. 4.10 показані функції приналежності нечітких множин, що відповідають значенням лінгвістичних змінних StateEnt, які характеризують можливий стан підприємства, фірми, (Crisis, TechCrisis; Norma; Growth).

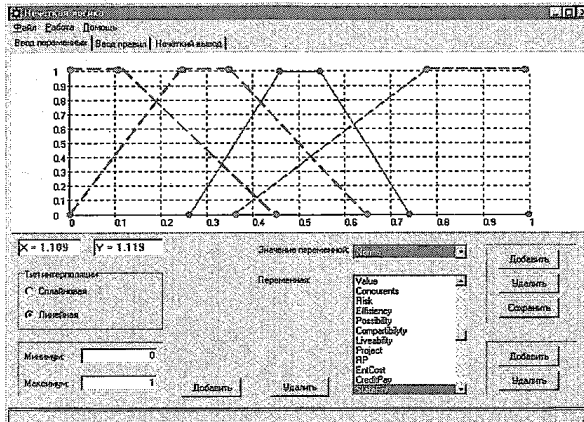


Рисунок 4.10 – Графічне відображення функції приналежності нечітких множин для відповідних значень змінної StateEnt

Результат обробки першого правила показано на рис. 4.11.

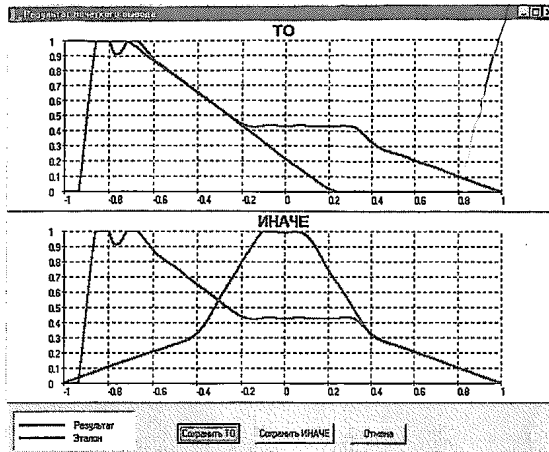


Рисунок 4.11 – Графічне відображення результату нечіткого висновку значень змінної EntCost

Результат більше свідчить на користь висновку про падіння ціни підприємства, ніж про її сталість. У той же час приналежність до значення Constant ЛЗ EntCost в даному випадку є досить високою (> 0.4). На наступному кроці формування висновку використовуються отримані значення лінгвістичних змінних EntCost (Fall) і нечітка оцінка величини аукціонного капіталу (логістична змінна Capital). Нечітка оцінка стану підприємства, отримана в результаті логістичних змінних формування висновків, представлена на рис.4.12.

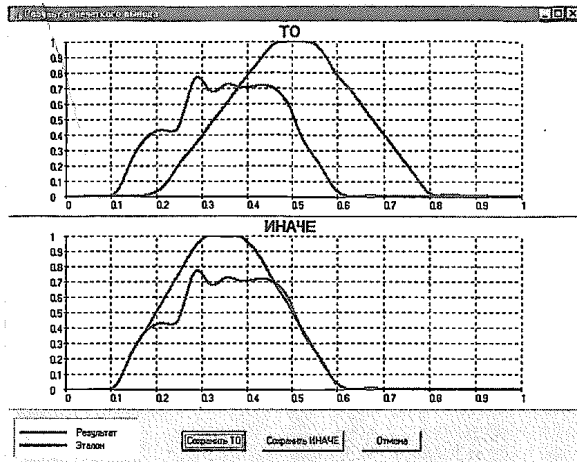


Рисунок 4.12 – Графічне відображення нечіткої оцінки стану підприємства, фірми

Очевидно, що отриманий результат більш схожий зі значенням TechCrisis, які видає по гілці ІНАКШЕ, ніж зі значенням Norma, які видає по гілці ТО. Однак ступінь приналежності до передкризового стану приблизно дорівнює 0.7, що можна інтерпретувати це як істотне погіршення стану.

Стан підприємства, фірми, оцінюється за різними властивостями, особливу увагу приділяють бухгалтерському аудиту. В подальшому використовується специфічні і більш точні методи оцінки. Слід зауважити, що адекватні результати можна отримати тільки на основі статистичного аналізу динаміки кількісних показників, що дозволяє нівелювати перешкоди. При використанні нечіткого підходу важливим є вміння встановлювати правильну відповідність між конкретними числами і значеннями лінгвістичних змінних. Істотний вплив на результати оцінки має вибір лінгвістичних змінних і формулювання правил.

Завдання короткострокового прогнозування стану підприємства, фірми, вирішується з використанням оцінки поточного стану на новому наборі правил, що містять в якості умов припущення про можливі параметри зовнішнього середовища підприємства і можливі дії керівництва. Для

підприємств, фірм, що знаходяться в нормальному стані, розглядаються ймовірні зміни зовнішніх чинників, можна отримати несприятливий прогноз на майбутнє. Тоді виникає необхідність вирішення наступного завдання – розробки політики розвитку підприємства, фірми, яка забезпечить його виживання і процвітання в невизначених умовах зовнішнього середовища. Підприємства, фірми, з позитивною динамікою показників також повинні враховувати можливі зміни навколишнього середовища, щоб приймати свої тимчасові заходи для забезпечення ефективного стану в майбутньому. Для підприємств, фірм, що знаходяться в стані кризи відпадає необхідність прогнозування, оскільки в цьому випадку можна відразу переходити до розробки антикризисних заходів.

Особливої актуальності завдання прогнозування та вироблення економічної стратегії підприємств, фірм, що знаходяться в передкризовому стані. У цьому випадку зазначені завдання об'єднуються в одне, тобто складається один набір правил, елементами яких стають прогнозовані за значеннями лінгвістичних змінних, що описують зовнішні чинники, а також за їх значеннями, відповідних дій по управлінню підприємством, фірмою. Найбільш за важливими внутрішніми факторами, що впливають на майбутній стан підприємства, фірми, які знаходяться в передкризовому стані, є наступні: стадія життєвого циклу; галузь діяльності; спрямованість потоків сировини і продукції; форма власності; співвідношення власних і позикових коштів; частка ринку; диверсифікація виробництва; прогресивність використовуваних технологій; конкурентоспроможність продукції; рівень запасів; оборотність коштів; ліквідаційна вартість активів; рівень витрат виробництва; цінова політика; професіоналізм кадрів [36].

Якщо перераховані фактори представити за допомогою лінгвістичних змінних, то можливо сформулювати наступну сукупність правил:

1. ЯКЩО StateEnt = TechCrisis I Галузь = Добувна I Направленність_продукції = Експорт I Курс_гривні = Падає I Доля_ринка = Велика, ТО Платоспроможність = Зростає.

2. ЯКЩО StateEnt = TechCrisis I CreditPay = Small I Платоспроможність = Зростає I Конкурентоспроможність = Низька I Технології = Старі I Попит = Високий, ТО Дія = Обновити_технології.

3. ЯКЩО Дія = Обновити_технології, ТО Конкурентоспроможність = Висока.

4. ЯКЩО StateEnt = TechCrisis I CreditPay = Large I Платоспроможність = Зростає, ТО Дія = Зменшити_кредитне_зобов'язання.

5. ЯКЩО Дія = Зменшити_кредитне_зобов'язання, ТО CreditPay = SmaU.

6. ЯКЩО StateEnt = TechCrisis I CreditPay = Small I Платоспроможність = Зростає I Конкурентоспроможність Низька I Доля_ринка = Мала I Попит = Низький, ТО Дія = Диверсифікація_виробництва.

7. ЯКЩО StateEnt = TechCrisis I Конкурентоспроможність = Висока I Попит = Високий, ТО Дія = Знизити_видержку.

8. ЯКЩО StateEnt = TechCrisis I CreditPay = Small I Платоспроможність = Зростає I Конкуреноспроможність-Висока I Попит = Високий, ТО Дія-Збільшити_потужність.

9. ЯКЩО Дія = Диверсифікація_виробництва, ТО Доля_ринку = Висока.

10. ЯКЩО Дія = Знизити_видержки, ТО Конкуреноспроможність = Висока.

11. ЯКЩО Дія = Збільшити_потужність, ТО Рентабельність = Висока.

12. ЯКЩО Платоспроможність = Зростає I Конкуреноспроможність = Висока I Доля_ринку = (Велика АБО Середня), ТО StateEnt = Norma.

13. ЯКЩО Платежеспроможність = Зростає I Рентабельність = Висока, ТО StateEnt = Norma.

14. ЯКЩО Платоспроможність-Не зростає I Конкуреноспособність-Низька I Попит = Низький I Рентабельність = Низька, ТО StateEnt = Crisis.

15

Логічний аналіз ситуацій з нечіткими змінними має більшу гнучкість, ніж традиційна логіка, і не вимагає повного набору аксіом для формування висновку. Такі самі якості є основними для недоліків при використанні нечіткої логіки підчас вирішення завдань діагностування та прогнозування. Вони полягають у відсутності обґрунтованих процедур побудови функцій приналежності та труднощах подання знань і інтерпретації результатів. Проведені дослідження методів нечіткої логіки в завданнях прийняття рішень і прогнозування дають підстави вважати, що ці підходи найбільш плідні в тих випадках, коли для побудови функцій приналежності використовується об'єктивна інформація. В нечіткому управлінні або в нечіткій діагностиці це дані вимірювань [6, 17, 18].

Практичне застосування методів нечітких множин дозволяє зробити наступні висновки:

1. Велика кількість правил, лінгвістичних змінних і їх значень призводить до протиріч і/або до погано інтерпретуючих результатів нечіткого висновку. Лінгвістичний підхід доречно застосовувати для опису закономірностей загального характеру, властивих визначеній предметній області. При цьому завдання визначення набору найважливіших лінгвістичних змінних і формування відповідних правил може бути вирішене тільки за допомогою експертів вищої кваліфікації. Більш точно визначення та аналіз стану потребує використання нових моделей, що групуються на кількісних інструментах з можливістю оцінки характеристик і фактів.

2. Головною проблемою нечітких методів є складність побудови функцій приналежності і ще більш висока складність інтерпретації отриманих результатів. Методи виконання згортки нечітких відношень впливають на результат в меншій степені, ніж вид використовуваних функцій приналежності.

3. Прийнятне уявлення знань впливає, як правило, в результаті серії обчислювальних експериментів, що проводяться за допомогою фахівця – аналітика [37].

4.6 Програмні засоби та області їх використання при роботі з нечіткою інформацією в процесі створення та функціонування інтелектуальних систем

Комерційне програмне забезпечення, що базується на моделях нечіткої інформації (множин знань), широко представлено на світовому ринку. Велика частина програмних продуктів орієнтована на вирішення науково-технічних завдань інтелектуальних систем, в тому числі транспортних і виробничих, і просувається на ринках продукції і послуг разом з відповідною апаратурою. Найменування і короткі характеристики програмних засобів, заснованих на нечітких моделях наведені у табл. 4.1 [22].

Таблиця 4.1 – Програмне забезпечення, основане на нечітких моделях інформації (множин знань)

Продукт	Фірма	Область використання
AIS	Adaptive Information Systems	Видалення нечіткої інформації і гнучкого опитування системи
FuziCalc	FuziWare	Програмне середовище, орієнтований аналіз фінансових проблем
Бізнес-прогноз	Тора-Інфо-Центр (дистрибутер)	Підтримка процесів прийняття управлінських рішень
CubiCalc	HyperLogic's	Система для підтримки завдань нечіткого моделювання і управління
FMC	Transfer-Tech	Оболонка для розробки нечітких систем
FRIL	FrilSystems Ltd	Нечітка мова логічних висновків
FuzzySoft	Fuzzy Soft AG	Нечітка система моделювання
Metus Fuzzy Library	Metus Systems	Бібліотека програм для обробки нечітких представлень на мові C/C++
NeuFuz	National Semiconductor	Нейронна мережа і нечітка логіка
Fide	Aptronics	Інструментальне середовище для розробки нечітких систем, яке використовує мікропроцесори на нечіткій логіці
FuzzyTECH	Inform Software	Програмне оточення для розробки нечітких систем
TILShell	Togai Infra Logic	Сукупність програм і апаратних засобів для створення нечітких систем

Пакет прикладних програм FuziCalc призначений для виконання швидких приблизних розрахунків в задачах прийняття рішень, що виникають в різних областях бізнесу. Пакет забезпечує обчислення в форматі електронних таблиць і зручний для аналізу фінансових показників. Він містить велику кількість стандартних функцій, використовуваних в завданнях аналізу фінансово-господарської діяльності підприємств. За допомогою пакета FuziCalc можна визначати показники прибутковості і окупності бізнесу, оцінки заборгованості клієнтів і оборотності товарно-матеріальних запасів, а також прискорювати складання оперативних фінансових звітів та інших документів. Програмний продукт Бізнес-прогноз також орієнтований на підтримку управлінських рішень в бізнесі. У ньому передбачено подання бізнес-процесу деревом рішень, при цьому оцінка можливих результатів здійснюється за допомогою функцій приналежності. Обчислення нечітких оцінок альтернативних рішень для управління підприємством проводиться на основі спостережуваних або суб'єктивно призначених ймовірностей подій. Пакет дозволяє вирішувати завдання прогнозування якості угод з урахуванням ряду обчислювальних показників, в тому числі ймовірного доходу від угоди; ступеня ризику (ймовірність безбиткового результату сукупності операцій); ступеня невизначеності результату; частки середньої ймовірного прибутку в загальній сумі угоди і т.п.

До відомих алгоритмічно-орієнтованим програмним продуктам відносяться пакети CubiCalc і NeuFuz. Пакет CubiCalc надає набір засобів для побудови нечітких моделей, в тому числі нечіткий редактор для введення і редагування значень лінгвістичних змінних, відповідних їм нечітких множин і правил; оператори, що дозволяють змінювати значення лінгвістичних змінних за допомогою спеціальних модифікаторів; вагові коефіцієнти правил. CubiCalc містить нечіткий словник і редагує базу знань. Результати нечіткого висновку представляються у вигляді двовимірної ґратки [30-34].

Система NeuFuz поєднує в собі нечіткий висновок і нейронну мережу, яка використовується для автоматичного формування правил і функцій приналежності за прикладами. Дана мережа має сім шарів та навчання і формування мережі виконується при реалізації інструменту зворотньої поширеності похибки.

Інструментальне середовище Fide дозволяє будувати нечіткі інтелектуальні системи шляхом інтеграції модулів нечіткого висновку, кожен з яких визначено в текстовому файлі, що містить визначення вхідних і вихідних змінних, пов'язаних з нечіткими множинами і правилами. Відмінною рисою системи Fide є креативний модуль, що включає підсистему аналізу і підсистему моделювання.

Середовище для розробки нечітких експертних систем FuzzyTECH містить сукупність редакторів, призначених для створення вхідних і вихідних змінних, функцій приналежності і правил. Дане середовище породжує програмні коди інтелектуальних систем на мові C / C ++ та іншими мовами, орієнтованих на спеціальні мікроконтролери.

Інструментальна система TILShell є засобом CASE-технології, призначеним для створення нечітких експертних систем. Ядро системи містить редактори правил і функцій приналежності, а також розвинені засоби для швидкої розробки конкретних програм, які легко можуть бути зістиковано з іншими програмними розробками, зробленими з використанням інструментарію теорії програмування.

Висновки по розділу 4

1. Виявлено, що при створенні, функціонуванні та удосконаленні інтелектуальних транспортних і виробничих систем інформація (знання) про конкретну предметну область рідко буває повною і абсолютно достовірною. При цьому виникає суперечність між множиною нечітких знань і чіткими методами логічного висновку. Подолання її передбачає подолання нечіткості знань або використання спеціальних методів представлення та обробки множин нечітких знань.

2. Нечіткість множини знань багатозначна, а основними компонентами є: недетермінованість висновків; багатозначність; ненадійність; неповнота; неточність. Дано характеристику цим компонентам. Для подолання нечіткості знань використовують множину евристичних алгоритмів. Розглянуто класичний алгоритм, розроблений на етапах створення штучного інтелекту на прикладі гри "8", як системи. Метою цієї гри є перехід деякого початкового стану системи в кінцевий. Побудовано схему дерева пошуку та алгоритм реалізації.

3. Усування багатозначності продемонстровано на прикладі циклічних операцій фільтрації розпізнавання зображень і реалізації методу релаксації для здійснення локального погляду на кожну вершину кута. Локальні інтеграції вершин зображень здійснюються з урахуванням зв'язків між ними, для яких число варіантів зменшується.

4. Широке застосування на практиці створення, функціонування і удосконалення інтелектуальних транспортних і виробничих систем отримані нечіткі висновки, що будуються на базі нечіткої логіки, яка впливає з теорії нечітких множин. У системах з ненадійними знаннями на "І-АБО" – графі з'являється ще один тип зв'язку "КОМБ" – комбінованих зв'язок. Логістичний оператор "КОМБ" характеризує коефіцієнт впевненості (CF)>, який знаходить широке застосування в експертних системах продукційного типу.

5. Показано, що імовірний підхід до оцінки надійності знань в інтелектуальних системах отримав у аналітиків широкий розвиток. Це передусім байєсівський метод, тобто використовує формулу Байєса. Теоретичні дослідження в даному напрямку тривають і в розпорядженні експертних систем є такі потужні засоби: імовірнісна логіка, нечітка логіка, теорія Демпстера-Шефера. В якості засобів формальної обробки неповних знань, необхідні немонотонні логіки: немонотонна логіка Макдейд Мотте і Доцяк, в якій вводяться умовні логічні операції, логіка умовчання Рейтера, немонотонна логіка Маккарті.

6. Для організації логічних висновків в інтелектуальних системах з неповними знаннями замість традиційної дедукції застосовується абдукція. Метою абдуктивного доведення є формування одного або більше пояснень спостережуваного факту на основі інформації, що зберігається в базі знань інтелектуальної системи. Дослідження в області немонотонних висновків – це спроба розширити межі формальної логіки, в які не вписується реальна інформація (знання) необхідна інтелектуальним системам.

7. Дано теоретичне обґрунтування нечітких множин та нечітких висновків. Показано, що над нечіткими множинами, як і над звичайними, можна виконувати ряд математичних операцій доповнення, об'єднання і перетин множин. Визначено, що одним із способів побудови нечітких відносин між множинами F та G є реалізація імплікації $F \rightarrow G$. Наведено сукупність властивостей нечітких множин та відношення між можливими множинами.

8. Розглянуто традиційний дедуктивний висновок, заснований на застосуванні правила доведення Modus Ponendo Pones в середовищі нечіткої інформації знань. В той час як композиційне правило доведення в цьому середовищі базується на операції максимальної згортки, відповідної імплікації і з найменшим висновком, вираженим нечіткою множиною. Проведена практична реалізація останнього правила.

9. Наведено метод обробки нечіткої інформації та множини знань, що враховує невизначеність шляху завдання в просторі станів інтелектуальних систем. Це продемонстровано на прикладі можливих позицій в грі з фішками з представленням ряду завдань і визначенням оптимального ходу на основі оцінної функції.

10. Виявлено, що система "нечітка логіка" здатна здійснювати нечіткий логічний висновок на множині правил, заданих користувачем. Обчислення висновку може бути реалізовано різними способами. Система виконує висновки на основі нечіткої композиції в середовищі нечітких знань, нечітких множин. Розроблено узагальнений алгоритм нечіткого висновку з семи кроками. Показано, що система "нечітка логіка" має свої переваги, які дозволяють їй вирішити ряд проблем. Висунута гіпотеза про доцільність організації бази знань зі змінною структурою у транспортних та виробничих системах, які повинні включити діалогову компонентну, призначену для різних варіантів структурування знань, а також цінність перевірки на несуперечливість сформованих структур.

11. Розглянуто проблему прогнозування розвитку транспортних і виробничих підприємств на основі нечіткої логіки, як методу створення інтелектуальних систем. При цьому експертна система використовує цей метод для вирішення завдань: діагностика поточного стану підприємств, прогнозування їх стану, розроблення рекомендацій для досягнення їх бажаного стану. Знання в базах станів підприємств представлені у вигляді правил з логічними змінними, значення яких відображають певні тенденції та основні показники. Наведено можливий набір з дванадцяти правил для діагностики стану транспортного та виробничого підприємств. Серед них

складні правила містять нечіткі операції заперечення, кон'юнкції і диз'юнкції. Значенням логічних змінних відповідають функції приналежності нечітких множин. Наведена комп'ютерна обробка представлених правил. Показано, що логічний аналіз ситуацій з нечіткими змінними має більшу гнучкість, ніж традиційна логіка, і не вимагає набору аксіом для висновку.

12. Наведено продукти програмного забезпечення, що оснований на нечітких моделях інформації (множини знань), зазначено фірми, що створили програмний продукт та області використання. Розглянуто переваги та недоліки кожного з програмних продуктів.

РОЗДІЛ 5. ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ПРИ СТВОРЕННІ ТА АДАПТАЦІЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ І ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ ДО ДИНАМІЧНИХ УМОВ ЇХ ФУНКЦІОНУВАННЯ

5.1 Загальна характеристика моделі штучного нейрону

Особливістю інтелектуальних транспортних і виробничих систем є здатність вирішувати слабоструктуровані і практично неформалізовані завдання. Ця здатність заснована на застосуванні різних методів моделювання і обробки символічної інформації. Традиційним підходом до побудови механізмів міркування є використання дедуктивного логічного висновку на правилах (rule-based reasoning), які застосовуються в експертних системах продукційного і логічного типу. В таких випадках необхідно сформулювати набір закономірностей, що описують визначену предметну область. При цьому альтернативний підхід заснований на концепції навчання за прикладами (case-based reasoning). При побудові інтелектуальних транспортних і виробничих систем не потрібно заздалегідь знати закономірності досліджуваної в них області, але необхідно мати достатню кількість прикладів, щоб налаштуватися на адаптивну систему, яка після навчання буде здатна отримувати необхідні результати з достатнім ступенем ймовірності. В якості адаптивної системи застосовується штучна нейронна мережа (ШНМ).

ШНМ – це спрощена модель біологічного мозку, точніше нервової тканини, яка складається з клітин-нейронів [2, 5, 9, 12]. Нейрон являє собою тіло (соми), що містить ядро і відростки-дендрити, за якими в нейрон надходять вхідні сигнали. Розгалужені відростки є аксонами, які служать для передачі вихідних сигналів іншим нервовим клітинам. З'єднання аксона з дендритом іншого нейрона є синапсом. Нейрон збуджується і передає сигнал через аксон, якщо число збуджуючих сигналів, що прийшли по дендритам більше, ніж число гальмуючих.

ШНМ являють собою сукупність простих обчислювальних елементів - штучних нейронів, кожен з яких має певну кількість входів (дендритів) і єдиний вихід (аксон), розгалуження якого підходять до синапсів, що зв'язує його з іншими нейронами. Інформація надходить на входи нейрона ззовні або від інших нейронів. Кожен нейрон характеризується функцією перетворення вхідних сигналів у вихідний або функцію збудження нейрона. В мережі нейрони можуть мати однакові або різні функції збудження. Сигнали, що надходять на вхід нейрона не рівнозначні, оскільки інформація з одного джерела може бути більш важливою, ніж з іншого. Пріоритети входів задаються за допомогою вектора вагових коефіцієнтів, що характеризують синаптичну силу нейронів.

Нейрон у вигляді кібернетичної моделі (рис. 5.1) являє собою дискретно-безперервний перетворювач інформації. Інформація, що надходить на вхід нейрона, підсумовується з урахуванням вагових коефіцієнтів ω ,

сигналів x_i , $i=1$, де n – розмірність простору вхідних сигналів. Потенціал нейрона визначається за формулою:

$$P = \sum_{i=1}^n \omega_i x_i . \quad (5.1)$$

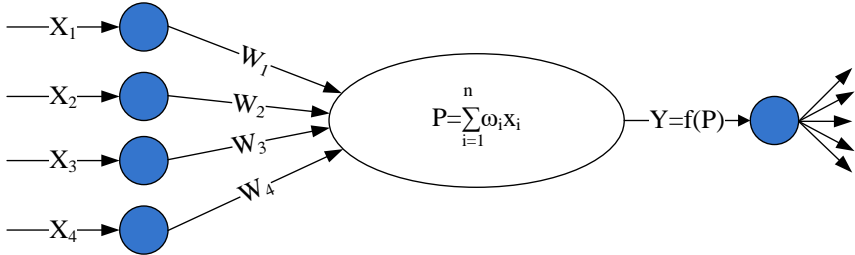


Рисунок 5.1 – Схема кібернетичної моделі нейрона

Зважена сума сигналів, що надійшли, перетворюється за допомогою передавальної (активаційної) функції $f(P)$ у вихідний сигнал нейрона Y , який передається іншим нейронам мережі. Вид функції $Y=f(P)$ є найважливішою характеристикою нейрона. У загальному випадку ця функція може бути лінійною, ступінчастою (пороговою) або нелінійною (рис. 5.2).

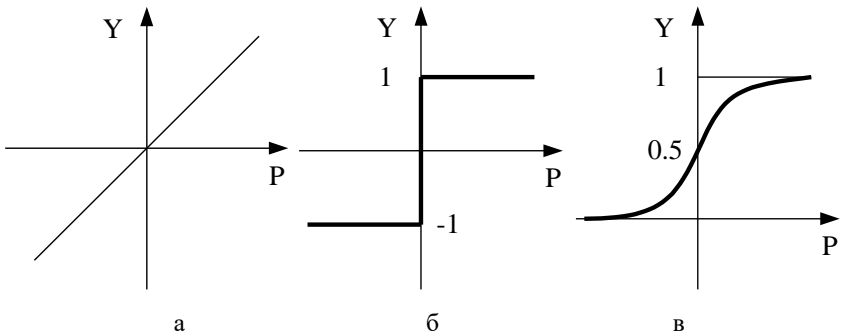


Рисунок 5.2 – Функції переносу сигналу штучних нейронів: а – лінійна; б – ступінчаста; в – сигмоїдальна (логістична)

Порогова функція пропускає інформацію тільки в тому випадку, якщо алгебраїчна сума вхідних сигналів перевищує деяку постійну величину P_{por}^* :

$$Y(P) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } P \geq P_{por}^* ; \\ -1, & \text{якщо } P < P_{por}^* . \end{cases} \quad (5.2)$$

Лінійна функція $Y=kP$ диференційована і легко обчислюється. Зазначене в ряді випадків дозволяє зменшити помилки вихідних сигналів в мережі. Разом з тим вона не є універсальною і не забезпечує вирішення багатьох завдань.

Перш за все порогова функція не забезпечує достатньої гнучкості ШНМ. Якщо значення обчисленого потенціалу не досягає заданого порогу P_{por} , то вихідний сигнал не формується і нейрон не спрацьовує. Це призводить до зниження інтенсивності вихідного сигналу нейрона і, як наслідок, до формування невисокого значення потенціалу зважених входів в наступному шарі нейронів.

Певним компромісом між лінійною і ступінчастою функціями є сигмоїдальна (логістична) функція (рис. 5.2, в) передавання сигналу:

$$Y(P) = (1 + \exp(-kP))^{-1}, \quad (5.3)$$

де k – коефіцієнт, що визначає крутизну нелінійної логістичної функції.

Можна бачити, що чим більші значення k , тим ближче функція до порогової, а чим менші значення k , тим ближче логістична вона до лінійної функції. Логістична функція дозволяє виділяти в просторі ознаки множин складної форми, в тому числі неопуклих і незв'язних. На відміну від ступінчастої функції вона, не має розривів. Логістична функція диференційована, як і лінійна функція. Останнє можливо використати при пошуку екстремуму в просторі параметрів інтелектуальних нейронних мереж (ІНМ). Тип функції $Y(P)$ передавання сигналу вибирається з урахуванням конкретних завдань ІТС та ІВС, розв'язуваних із застосуванням методу ІНМ. При цьому, в завданнях апроксимації і класифікації мереж перевага надається логістичній функції.

Нейронна мережа являє собою сукупність штучних нейронів, сформованих шарами. При цьому виходи нейронів одного шару з'єднуються з входами нейронів іншого шару. Залежно від топології з'єднань нейронів розрізняють наступні типи ІНМ: однорівневі і багаторівневі; зі зворотними зв'язками і без них. Зв'язки між шарами нейронів можуть мати різну структуру. Якщо однолінійна мережа, то кожен нейрон нижнього шару пов'язаний з одним нейроном верхнього шару. Якщо кожен нейрон нижнього шару з'єднаний з декількома нейронами наступного шару, то створюється пірамідальна мережа. Лійкоподібна схема з'єднань передбачає зв'язок кожного нейрону верхнього шару з усіма нейронами нижнього шару. Деревоподібні і рекурентні нейронні мережі містять зворотні зв'язки з довільною структурою міжнейронних з'єднань. Побудувати ІНМ при вирішенні конкретної проблеми або завдання, здійснюють наступним чином [1, 2, 5-7, 12, 16]:

- вибирають тип з'єднання нейронів;
- визначають вид передавальних функцій елементів;
- підбирають вагові коефіцієнти міжнейронних зв'язків.

5.2 Моделі нейронних мереж, що поширені на практиці

Відомо, що теоретичною основою побудови моделей нейронних мереж (МНМ) є методи нейроматематики, які надали можливість спробувати створити машини, що володіють розумною поведінкою. Це значною мірою є реалізацією натхнення ідеями Норберта Вінера. Він писав у своїй знаменитій праці "Кібернетика або управління і зв'язок в тварині і машині", що всі машини, які претендують на "розумність", повинні мати здатність переслідувати певні цілі і пристосовуватися до умов функціонування. Ці ідеї були впроваджені Дж. Маккалохом і У. Піттсом, які розробили власну теорію діяльності головного мозку [3], засновану на припущенні: функціонування комп'ютера і мозку подібні. До основних результатів їх роботи слід віднести наступне:

- модель нейрона, як найпростішого процесорного елемента, дає можливість обчислювати значення перехідної функції від скалярного добутку векторів вхідних сигналів і вагових коефіцієнтів;
- конструкція нейронної мережі необхідна для виконання логічних і арифметичних операцій;
- нейронна мережа має здатність до навчання, розпізнавання образів та узагальнення отриманої інформації.

У формалізмі Дж. Маккалоха і У. Піттса сигнали нейронів описуються пороговою функцією переходу зі стану в стан. Кожен нейрон в мережі визначає зважену суму станів всіх інших нейронів і порівнює її з пороговим значенням, щоб визначити свій власний стан. Апаратна реалізація ІНМ на основі порогових елементів, що оперують двійковими числами, виявилася надзвичайно важкою через високу вартість електронних елементів. Найдосконаліші штучні системи містять лише сотні нейронів, в той час як нервова система мурашки містить більше 20 тис. [17].

Серьйозний розвиток нейрокібернетика отримала в працях американського нейрофізіолога Ф. Розенблата, який запропонував модель нейронної мережі і продемонстрував створення на її основі електронного пристрою перцептрону [8]. Ф. Розенблат ввів можливість модифікації міжнейронних зв'язків, що зробило ШНМ здатною до навчання. Перші перцептрони розпізнавали деякі літери латинського алфавіту. В подальшому модель перцептрона була значно вдосконалена, а найбільш вдалим її застосуванням стали завдання автоматичної класифікації.

Алгоритм навчання перцептрона включає наступні кроки:

1. Системі пред'являється еталонний образ.
2. Якщо результат розпізнавання збігається з заданим, вагові коефіцієнти зв'язків не змінюються.
3. Якщо ШНМ неправильно розпізнає результат, то вагові коефіцієнти змінюють, щоб підвищити якість розпізнавання.

Теоретичний аналіз перцептрона, проведений М. Мінським і С. Пейпертом [4], показав його обмежені можливості, оскільки не завжди існує така комбінація вагових коефіцієнтів, при якій задана множина образів буде

розпізнаватися правильно. Причина цього недоліку полягає в тому, що одношаровий перцептрон реалізує лінійну поверхню, що розділяє простір еталонів. Це обумовлює невірне розпізнавання образів в випадках, коли завдання не є лінійно сепарабельним. Для подолання цього недоліку запропоновано моделі багатшарових перцептронів, здатних будувати ламаний розмежувач між розпізнаваними образами. Незважаючи на те, що перцептрон Розенблата мав невисокі можливості навчання, розробка цієї концепції привернула увагу дослідників до проблеми, пов'язаних з ШНМ та з створенням більш "розумних" інтелектуальних транспортних і виробничих систем [18].

Багатшарова мережа, у якій встановлюються зв'язки тільки між нейронами сусідніх шарів, представлена на рис.5.3.

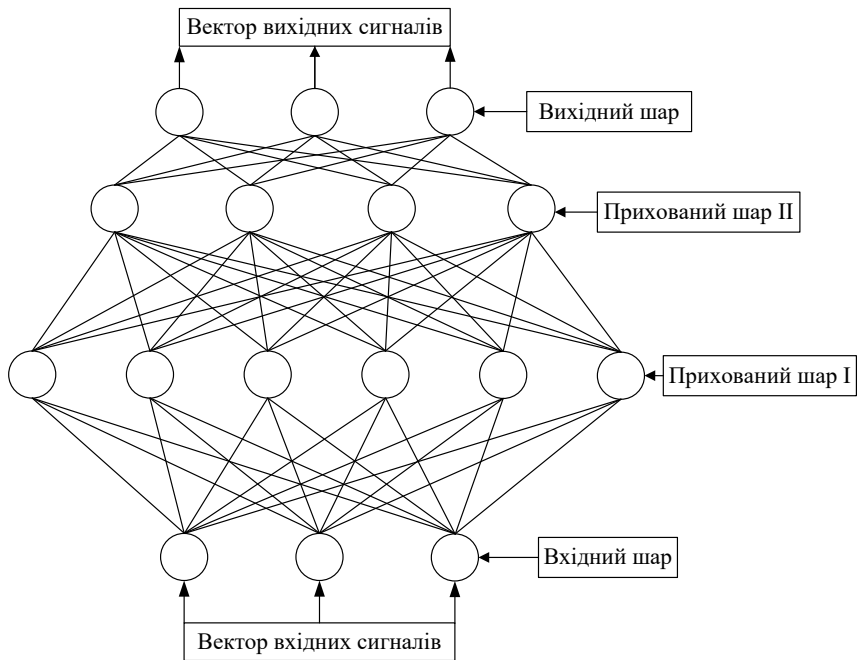


Рисунок 5.3 – Схематичне відображення моделі багатшарового перцептрона

Кожен елемент багатшарового перцептрона, що може бути з'єднаний, модифікується зв'язками з будь-яким нейроном сусідніх шарів. Зазначимо, що між елементами одного шару відсутні зв'язки. Кожен нейрон може посылати вихідний сигнал у вищерозміщений шар і приймати вхідні сигнали з нижче розташованого шару. Вхідні сигнали подаються на нижній шар, а вихідний

вектор сигналів визначається шляхом послідовного обчислення рівнів активності елементів кожного шару (від низу до верху) з використанням вже відомих значень активності елементів попередніх шарів. При розпізнаванні образів вхідний вектор відповідає набору ознак, а вихідний – розпізнаваним образам. Прихований шар (один або кілька) призначений для відображення специфіки знань. У таких мережах зазвичай використовуються передавальні логістичні функції.

Структура нейронної мережі визначається типом багатошарового нейрону. Якщо структура нейрону 25-10-5, то це свідчить, що двадцять п'ять вузлів (нейронів) знаходиться в першому шарі, десять – в прихованому і п'ять – у вихідному. Визначення числа шарів і числа нейронів в кожному шарі для конкретного завдання є неформальною проблемою, при вирішенні якої можна використовувати евристичне правило: число нейронів в наступному шарі в два рази менше, ніж в попередньому [10,14].

З'ясовано, що простий перцептрон з одним шаром зв'язків формує межі областей рішень у вигляді гіперплощини, а двошаровий перцептрон – може виконувати операцію логічного І півпростору, утвореного гіперплощинами першого шару. Це дозволяє формувати будь-які опуклі області в просторі вхідних сигналів. За допомогою тришарового перцептрону, використовуючи логічну операцію АБО для комбінування опуклих областей, можна отримати області рішень довільної форми і складності, в тому числі неопуклі і незв'язні. Багатошарові перцептрони з достатньою множиною внутрішніх нейроподібних елементів і відповідною матрицею зв'язків в принципі здатні здійснювати будь-яке відображення "вхід-вихід". Про це ще раніше відзначали М. Мінський і С. Пейперт, але вони сумнівалися, що для таких процедур можна відкрити потужний аналог процедури навчання простого перцептрону. Відродження інтересу до багатошарових мереж дає можливість запропонувати декілька процедур в цій системі. Однією з них є алгоритм зворотного поширення помилки.

Рекурентні нейронні мережі (рис. 5.4) містять зворотні зв'язки, завдяки яким стає можливим отримання різних значень виходів при одних і тих вхідних даних. Наявність зворотних нейронів дозволяє інтелектуальним навчаючим системам (ІНС) накопичувати знання в процесі навчання. Вони є розвитком моделі Хопфілда, що використовують нові алгоритми навчання, виключаючи потрапляння системи в локальні мінімуми на поверхні енергетичних станів. Слід зазначити, що важливою особливістю рекурентних мереж є їх здатність передбачати існування нових класів об'єктів. Модель Хопфілда є початком сучасного математичного моделювання нейронних обчислень [11, 19]. До аналізу нейромережових моделей вдається залучити потужний математичний апарат статистичної фізики.

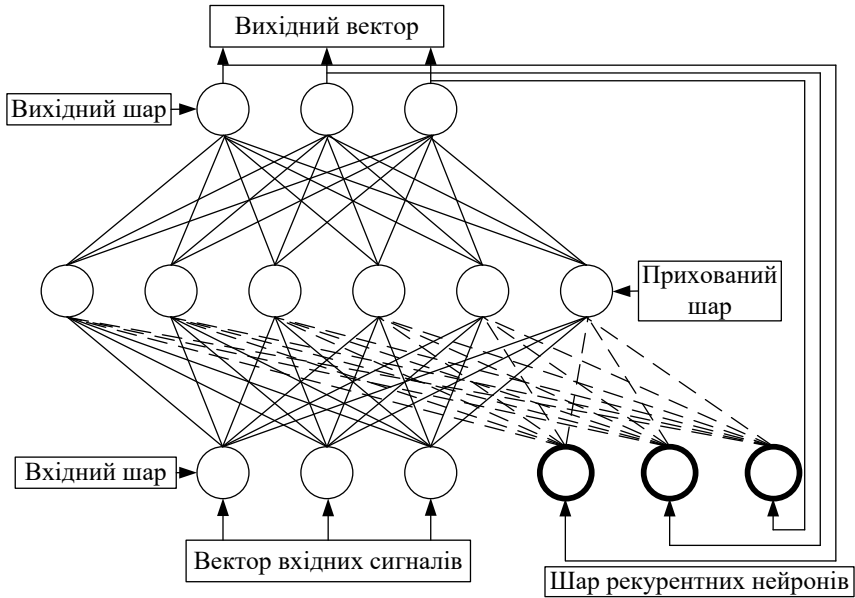


Рисунок 5.4 – Схематичне відображення моделі рекурентної нейронної мережі

Правило Д. Хебба для модифікації вагових коефіцієнтів дало можливість сформулювати математичну модель асоціативної пам'яті на нейронних мережах. Правило є основою простого припущення: якщо два нейрона збуджуються разом, то сила зв'язку між ними зростає; якщо вони збуджуються порізно, то сила зв'язку між ними зменшується. В зв'язку з цим, при побудові мережі Хопфілда урахуються наступні умови:

- всі елементи зв'язані з усіма;
- якщо вагові коефіцієнти рівні $w_{ij} = w_{ji}$, то прямі і зворотні зв'язки симетричні;
- якщо вагові коефіцієнти $w_{ii} = 0$, то діагональні елементи матриці зв'язків дорівнюють нулю і зворотні зв'язки з виходу на вхід одного нейрона виключаються.

Для одношарової нейронної мережі зі зв'язками типу "всі до всіх" характерна збіжність до однієї з кінцевої множини рівноважних точок, які є локальними мінімумами функції енергії, що відображає структуру всіх зв'язків в мережі. При цьому функція енергії нейронної мережі описує поведінку мережі через прагнення до мінімуму енергії, яка відповідає стану заданого набору образів. У зв'язку з цим мережі Хопфілда можуть виконувати функції асоціативної пам'яті, забезпечуючи відповідність до того образу, в область тяжіння якого потрапляє початковий патерн (зразок) активності нейронів мережі [20].

Цей підхід є привабливим тим, що нейронна мережа для конкретного завдання може бути запрограмована без навчальних ітерацій. Вага зв'язків обчислюється на основі виду функції енергії, сконструйованої для розв'язуваного завдання.

Розвитком моделі Хопфілда є машина Больцмана, запропонована і досліджена Дж.Е. Хінтон і Р. Земель [5,7,12,21] для вирішення комбінаторних оптимізаційних завдань і завдань штучного інтелекту. Нейрон в цій моделі має стан (1.0), міжнейронні зв'язки представлені ваговими коефіцієнтами, а кожний стан мережі характеризується певним значенням функції консенсусу як аналогу функції енергії. Максимум функції консенсусу відповідає оптимальному вирішенню завдання.

Мережі Хопфілда отримують застосування на практиці, в основному, як реалізації підсистем більш складних систем. Разом з тим вони мають певні недоліки, що обмежують можливості їх застосування:

- припущення про симетрію зв'язків між елементами, без якої не можна ввести поняття енергії;
- нейронна мережа являє собою своєчинний пристрій для запам'ятовування та обробки інформації, а не пристрій мінімізації та економії енергії, які відіграють допоміжну роль;
- нейронні мережі Хопфілда підтримують множину зайвих зв'язків, що не є ефективними та іноді дублюють один одного.

У реальних транспортних і виробничих системах зайві зв'язки не підтримуються, оскільки їх реалізація вимагає певних витрат. Якщо розглянути біологічні системи, то у них звільнення від зайвих зв'язків відбуваються за рахунок їх структуризації. При цьому замість організації зв'язків "всіх до всіх" використовується багатопшарова ієрархічна система зв'язків.

В моделях нейронної мережі запропонованої Т. Кохоневим відбуваються процеси самоорганізації [15, 22]. Це обумовлено конкуренцією між нейронами, що базується на застосуванні спеціальних алгоритмів самонавчання ШНМ. Мережі Кохонена зазвичай містять один (вихідний) шар обробних елементів з пороговою функцією передачі. Число нейронів у вихідному шарі відповідає кількості розпізнаваних їх класів. Налаштування параметрів міжнейронних з'єднань проводиться автоматично на основі міри близькості вектора вагових коефіцієнтів настроювальних зв'язків до вектора вхідних сигналів в евклідовому просторі. У конкурентній боротьбі перемагає нейрон, що має значення ваги, яка найбільше наближена до нормалізованого вектора вхідних сигналів. Крім того, в самоорганізованих мережах можлива класифікація вхідних зразків (патернів). На практиці ідея Кохонена зазвичай використовується в комбінації з іншими нейромережевими парадигмами.

5.3 Методи та етапи побудови моделі штучної нейронної мережі

В даний час нейромережеві технології успішно застосовуються при вирішенні завдань прогнозування, розпізнавання і узагальнення. Перед тим як

побудувати модель ШНМ необхідно визначитись із завданнями, які будуть вирішуватися.

Першим етапом побудови нейромережевої моделі є ретельний відбір вхідних даних, що впливають на очікуваний результат. В той час з вихідної інформації необхідно виключити всі відомості, які не відносяться до досліджуваної проблеми. Слід також мати достатню кількість прикладів для навчання ШНМ. При цьому існує емпіричне правило, яке встановлює рекомендоване співвідношення λ між кількістю навчальних прикладів, що містять вхідні дані та правильні відповіді, і числом з'єднань в нейронній мережі. Як правило $\lambda < 10$.

Зауважимо, що для факторів, які включаються в навчальну вибірку, доцільно попередньо оцінити їх значимість, використавши кореляційний і регресійний аналізи, визначити діапазони можливих змін.

На другому етапі здійснюється перетворення вихідних даних з урахуванням характеру і типу завдань (проблем), відображених нейромережевою моделлю, та вибираються способи подання інформації. З'ясовано, що ефективність нейромережевої моделі підвищується, якщо діапазони зміни вхідних і вихідних факторів нормовані, або приведені до деякого стандарту. Це можуть бути діапазони: $[0,1]$ або $[-1,1]$.

Третій етап полягає в здійсненні проекту архітектури ШНМ: число шарів і число нейронів в кожному шарі. Зазначимо, що структура ШНМ формується до початку навчання, а тому успішне вирішення завдання (проблеми) багато в чому визначається досвідом та мистецтвом аналітика, який проводить дослідження.

Четвертий етап пов'язаний з навчанням ШНМ, яке може проводитися на основі конструктивного або деструктивного підходу. Відповідно до першого підходу навчання ШНМ починається на мережі невеликого розміру, який поступово збільшується до досягнення необхідної точності за результатами тестування. Деструктивний підхід базується на принципі "проріджування дерева", відповідно до якого з мережі, що має надлишковий об'єм, поступово видаляють "зайві" нейрони і зв'язки, що примикають до них. Цей підхід дає можливість досліджувати вплив віддалених зв'язків нейронів на точність ШНМ.

Процес навчання нейронної мережі дає можливість уточнювати значення вагових коефіцієнтів w_{ij} для окремих вузлів, використовувати поступове збільшення обсягу вхідної та вихідної інформації. Перед початком навчання слід провести процедуру вибору функції активації нейронів, що враховує характер розв'язуваного завдання. Наприклад, в тришарових перцептронах на нейронах прихованого шару застосовується в більшості випадків логістична функція, а тип передавальної функції нейронів вихідного шару визначається на основі аналізу результатів обчислювальних експериментів в ШНМ. Основним індикатором навченості ШНМ може служити гістограма значень міжнейронних зв'язків [13].

На п'ятому етапі проводиться тестування отриманої моделі ШНМ на незалежній вибірці прикладів.

5.4 Адаптація нейронних мереж до умов комплексу динамічних завдань та умов навчання

Найважливішою властивістю нейронних мереж є їх здатність до навчання. Це обумовлює використання нейромережових моделей при вирішенні завдань, для яких алгоритмізація є неможливою проблематичною або занадто трудомісткою процедурою. Навчання нейронної мережі полягає в зміні внутрішніх параметрів моделі таким чином, щоб на виході ШНМ генерувався вектор значень, що співпадає з результатами прикладів навчальної вибірки. Зміна параметрів моделі може виконуватися різними способами відповідно до різних алгоритмів навчання. Процес навчання визначається доступністю необхідної інформації. Виділяють контрольоване, неконтрольоване та змішане навчання.

При контрольованому навчанні всі приклади навчальної вибірки містять правильні відповіді (виходи), що відповідають початковим даним (входи). В процесі контрольованого навчання синаптична питома вага налаштовується так, щоб мережа генерувала відповіді, що найбільш близькі до правильних.

Неконтрольоване навчання використовується, у випадках якщо не для всіх прикладів навчальної вибірки відомі правильні відповіді. При цьому здійснюються спроби визначення внутрішньої структури. Це враховується в мережу даних з метою розподілення зразків по категоріях (моделі Кохонена).

При змішаному навчанні частина питомих ваг зв'язків визначається за допомогою контрольованого навчання, а інша частина – отримується за допомогою алгоритмів самонавчання.

Навчання за прикладами характеризується трьома основними властивостями: ємність, складність зразків і обчислювальна складність. Ємність відповідає кількості зразків, які може запам'ятати ШНМ. Складність зразків визначає здатність нейронної мережі до навчання. Разом з тим під час навчання ШНМ можуть виникати такі негативні моменти, як стани "перетренування". Мережа в такому стані добре дає собі раду на основі навчальної вибірки, вона не може справитись з новими прикладами, оскільки втрачає здатність навчатися.

Відомі основні правила навчання ШНМ:

1. Правило корекції за помилкою.
2. Правило Хебба [7].
3. Навчання методом змагання.
4. Метод зворотного поширення помилки.

За першим правилом процес навчання ШНМ полягає в корекції вихідних значень вагових коефіцієнтів міжнейронних зв'язків, які зазвичай задаються випадковим чином. При введенні вхідних даних прикладу, що запам'ятовується, з'являється реакція, яка передається від одного шару нейронів до іншого, досягаючи останнього шару, де обчислюється результат. Різниця між відомим значенням результату і реакцією мережі відповідає

величині помилки, яка може використовуватися для коригування питомої ваги міжнейронних зв'язків.

Коригування полягає в невеликому (менше 1%) збільшенні синаптичної питомої ваги тих зв'язків, які підсилюють правильні реакції, і зменшенні тих, які сприяють помилковим випадкам. Це найпростіше правило контрольованого навчання (дельта-правило) використовується в одношарових мережах з одним рівнем настроювання зв'язків між множинами факторів входів і виходів. При цьому на кожному k -ому кроці для j -го нейрона питома вага i -го зв'язка обчислюється за формулою:

$$w_{jik} = w_{ji(k-1)} + \Delta w_{jik}, \quad (5.4)$$

де $\Delta w_{jik} = \eta \delta_{jk} x_{jik}$, $\delta_{jk} = T_{jk} - R_{jk}$, T_{jk} – відоме правильної значення виходу j -го нейрона; R_{jk} – розраховане значення виходу j -го нейрона; x_{jik} – величина сигналу на i -ому вході, η – коефіцієнт швидкості навчання.

Оптимальні значення питомої ваги міжнейронних зв'язків можна визначити шляхом мінімізації середньоквадратичної помилки з використанням детермінованих або псевдовипадкових алгоритмів пошуку екстремуму в просторі вагових коефіцієнтів. При цьому виникає традиційна проблема оптимізації, що пов'язана з влученням в локальний мінімум. Позитивний момент в даній ситуації відіграє правило Хебба.

Воно базується на нейрофізіологічному спостереженні. Сутність такого спостереження полягає в наступному: якщо нейрони синапсу активізуються одночасно і регулярно по обидві сторони, то сила їх синаптичного зв'язку буде зростати. При цьому зміна питомої ваги кожного міжнейронного зв'язку при цьому залежить тільки від активності нейронів, що утворюють синапс. Це істотно спрощує реалізацію алгоритмів навчання. На відміну від правила Хебба, де сукупність вихідних нейронів може порушуватися одночасно, вихідні нейрони в даному випадку змагаються та конкурують між собою за активізацією. В процесі такого навчання здійснюється модифікація питомої ваги зв'язків нейрона, який переміг, а також нейронів, розташованих в його околі за правилом: "переможець забирає все".

Метод зворотного поширення є узагальненням процедури навчання простого перцептронів з використанням дельта-правила на багатшарових мережах [2, 6, 10]. В даному методі необхідно володіти навчальною вибіркою, що містить правильні відповіді. Зазначимо, що вибірка повинна включати множину пар зразків вхідних і вихідних даних, між якими потрібно встановити відповідність.

Навчання міжнейронних мереж починають з присвоюванням невеликих випадкових значень на основі зв'язків між нейронами. Кожен крок навчальної процедури складається з двох фаз. На першій фазі вхідні елементи мережі встановлюються в заданий стан. Вхідні сигнали поширюються по мережі, породжуючи деякий вихідний вектор. Для роботи алгоритму необхідно, щоб характеристика "вхід-вихід" нейроподібних елементів була неспадною і мала обмежену похідну.

Зазвичай для цього використовують логістичні функції. Отриманий вихідний вектор порівнюється з необхідним правильним. При умові збігання векторів вагові коефіцієнти зв'язків не змінюються. В іншому випадку обчислюється різниця між фактичними і необхідними вихідними значеннями, яка передається послідовно від вихідного шару до вхідного.

На основі зазначеної інформації проводиться модифікація зв'язків у відповідності до узагальненого дельта-правила, яке має вигляд:

$$\Delta_p w_{ji} = \eta \delta_{jp} y_{ip}. \quad (5.5)$$

Відповідно до цього правила, зміни в зв'язку w_{ji} для p -ої навчальної пари $\Delta_p w_{ji}$ пропорційні добутку сигналу помилки j -го нейрона δ_{jp} . Одержується вхідний сигнал по зв'язку з ним і вихідним сигналом i -го нейрона y_{ip} . Визначення сигналу помилки є рекурсивним процесом, який починається з вихідних блоків. Для вихідного блоку сигнал помилки становить:

$$\delta_{jp} = y'_j (T_{jp} - R_{jp}), \quad (5.6)$$

де T_{jp} і R_{jp} – відповідно бажане і дійсне значення вихідного сигналу j -го блоку; y'_j – похідна від вихідного сигналу j -го блоку. Сигнал помилки для прихованого блоку визначається рекурсивно через сигнал помилки блоків, з яким з'єднаний його вихід, і питома вага цих зв'язків дорівнює:

$$\delta_{jp} = y'_j \sum_k \delta_{kp} w_{kj}. \quad (5.7)$$

Для логістичної функції $y'_j = y_j(1 - y_j)$, на інтервалі $0 < y_i < 1$ похідна має максимальне значення в точці $y_i = 0.5$, а в точках $y_i = 0$ і $y_i = 1$ наближається до нуля. Максимальні зміни питомої ваги відповідають блокам (нейронам), які ще не вибрали свій стан. Крім того, при кінцевих значеннях вагових коефіцієнтів вихідні сигнали блоків не можуть досягати значень 0 або 1, Тому за 0 зазвичай приймають значення $y_i < 0.1$, а за 1 – значення $y_i > 0.9$.

Модифікація питомої ваги проводиться після пред'явлення кожною парою "входу-виходу". Однак, якщо коефіцієнт η , що визначає швидкість навчання, малий, то можна показати, що узагальнене дельта-правило досить добре апроксимує мінімізацію загальної помилки функціонування мережі D методом градієнтного спуску в просторі питомої ваги. Загальна помилка функціонування мережі визначається за формулою:

$$D = \frac{1}{2} \sum_p \sum_j (T_{jp} - R_{jp})^2. \quad (5.8)$$

Слід зазначити, що навчання триває до тих пір, поки помилка не зменшиться відносно заданої величини. Емпіричні результати свідчать, що

при малих значеннях η система знаходить досить хороший мінімум D. Один з основних недоліків алгоритму зворотного поширення помилки полягає в тому, що в багатьох випадках для збіжності результату може знадобитися багаторазове (сотні разів) пред'явлення всієї навчальної вибірки. Використовуючи інформацію про другу похідну D або шляхом збільшення η підвищують швидкість навчання міжнейронних мереж.

Алгоритм зворотного поширення помилки використовується також для навчання мереж із зворотними зв'язками. При цьому враховується еквівалентність багатопшарової мережі з прямими зв'язками та синхронної мережі із зворотними зв'язками на обмеженому інтервалі часу, оскільки шар відповідає такту часу.

В даний час запропоновано алгоритми навчання, більш привабливі в сенсі біологічної аналогії. Прикладом є алгоритм рециркуляції для мереж, в яких приховані блоки з'єднані з вхідними. При навчанні питома вага зв'язків перебудовується таким чином, щоб мінімізувати частоту зміни активності кожного блоку. Таким чином, навчена мережа має стабільні стани і може функціонувати в режимі асоціативної пам'яті.

5.5 Способи та варіанти реалізації нейронних мереж

Нейронні мережі можуть бути реалізовані програмним або апаратним способом. Варіантами апаратної реалізації є нейрокомп'ютери, нейроплати і нейроВІС (великі інтегральні схеми). Одна з найпростіших і дешевих нейроВІС – модель MD 1220 фірми Micro Devices, яка реалізує мережу з 8 нейронами і 120 синапсами. Серед перспективних розробок можна виділити моделі фірми Adaptive Solutions (США) і Hitachi (Японія). Розробки фірми Adaptive Solutions нейроВІС є однією з найбільш швидкодіючих: оголошена швидкість обробки складає 1,2 млрд. міжнейронних з'єднань в секунду (мнс/с). Схеми, вироблені фірмою Hitachi, дозволяють реалізовувати ШНС, що містять до 576 нейронів.

Якщо розглянути сучасні нейрокомп'ютери, то персональні комп'ютери або робочі станції, до складу яких входять додаткові нейроплати. До їх числа відносяться комп'ютери серії FMR фірми Fujitsu. Можливостей таких систем цілком вистачає для вирішення великого числа прикладних завдань методами нейрометаматики, а також для розробки нових алгоритмів. В спеціалізованих нейрокомп'ютерах, реалізовані принципи архітектури нейромереж. В якості прикладу таких систем можна вважати комп'ютери сімейства Mark фірми TRW. Зазначимо, що перша реалізація перцептрона Mark I, розроблена Ф. Розенблат. Модель Mark III фірми TRW представляє собою робочу станцію, яка містить до 15 процесорів сімейства Motorola 68000 з математичними сопроцесорами. Всі процесори об'єднані шиною VME. Архітектура системи, що підтримує до 65 ТОВ віртуальних процесорних елементів з більш ніж 1 млн. настроюються з'єднань, дозволяє обробляти до 450 тис. мнс/с.

Іншим прикладом є нейрокомп'ютер NETSIM, створений фірмою Texas Instruments на базі розробок Кембриджського університету. Топологія

нейрокомп'ютера являє собою тривимірні ґратки стандартних обчислювальних вузлів на базі процесорів 80188. Комп'ютер NETSIM використовується для моделювання мереж Хопфілда-Кохонена. Продуктивність досягає 450 млн. мнс/с.

У тих випадках, коли розробка або впровадження апаратних реалізацій нейронних мереж обходяться занадто дорого, застосовують більш дешеві програмні реалізації. Одним з найбільш поширених програмних продуктів є сімейство програм BrainMaker фірми CSS (California Scientific Software).

Призначення пакету BrainMaker – розв'язання завдань, для яких поки не знайдені формальні методи і алгоритми, а вхідні дані неповні, зашумлені і суперечливі. До таких завдань відносяться прогнозування курсів валют і акцій на біржах, моделювання кризових ситуацій, розпізнавання образів і багато інших. BrainMaker вирішує поставлене завдання, використовуючи математичний апарат теорії нейронних мереж (більш конкретно – мережа Хопфілда з навчанням за методом зворотного поширення помилки). Оперативна пам'ять розглядається як модель багатопарова нейронна мережа, яка має властивість навчатися на множині ряду прикладів, оптимізуючи їх внутрішню структуру. При правильному виборі структури мережі після її навчання на досить великій кількості прикладів можна домогтися високої достовірності результатів (97% і вище). Для MS DOS і MS Windows, а також для Apple Macintosh існують версії BrainMaker. Крім базової версії в сімейство BrainMaker входять доповнення: BrainMaker Student; Toolkit Option; BrainMaker Professional; Genetic Training Option; DataMaker Editor; Training Financial Data; BrainMaker Accelerator. Розглянемо кожен з цих пакетів:

- BrainMaker Student – версія для навчального процесу в університетах, популярна у невеликих фірм, що спеціалізуються на створенні додатків для не зовсім складних завдань.

- Toolkit Option являє собою набір з трьох додаткових програм, які збільшують можливості пакету BrainMaker. Binary, яка переводить навчальну інформацію в двійковий формат для прискорення навчання; Hypersonic Training, де використовується високошвидкісний алгоритм навчання; Plotting, яка відображає факти, статистику та інші дані в графічному вигляді.

- BrainMaker Professional – професійна версія пакету BrainMaker з розширеними функціональними можливостями, яка включає в себе всі опції Toolkit.

- Genetic Training Option (для BrainMaker Pro) – програма автоматичної оптимізації нейронної мережі використовується для вирішення заданого класу завдань, для генетичних алгоритмів при виборі найкращих рішень.

- DataMaker Editor – спеціалізований редактор для автоматизації підготовки даних при налаштуванні і використанні нейронної мережі.

- Training Financial Data – спеціалізовані набори даних для налаштування нейронної мережі на різні види аналітичних, комерційних і фінансових операцій. Операції, які включають реальні значення макроекономічних показників NYSE, NADDAW, ASE, OEX, DOW і ін.,

індекси інфляції, статистичні дані біржових зведень по різних видам продукції, а також інформацію за ф'ючерсними контрактами та ін.

– BrainMaker Accelerator – спеціалізована нейроплата -акселератор на базі сигнальних процесорів TMS320C25 фірми Texas Instruments. Якщо програма вставлена в персональний комп'ютер, то цим в кілька разів прискорюється робота пакета BrainMaker.

– BrainMaker Accelerator Pro – як професійна багатопроесорна нейронна плата, містить п'ять сигнальних процесорів TMS320C30 і 32 Мбайт оперативної пам'яті [23].

На ринку програмних засобів є велика кількість різноманітних пакетів для конструювання нейронних мереж і вирішення різних завдань. Крім представників цього сімейства BrainMaker, до добре відомим і поширеним програмним засобам можна віднести NeuroShell (Ward System's Group), Neural Works (Neural Ware Inc.) і NeuroSolutions (NeuroDimension Inc.). Для моделювання ШНМ об'єктно орієнтовані програмні середовища сімейства NeuroSolutions, які призначені для довільної структури. Користувачеві систем NeuroSolutions надані можливості дослідження і діалогового управління. В даному випадку дані в мережі є доступними для перегляду в процесі системи навчання, використанням різноманітних інструментів візуалізації. Проектування ШНМ в системі NeuroSolutions засноване на модульному принципі, який дозволяє моделювати стандартні і нові топології. Важливою перевагою системи є наявність спеціальних інструментів, що дозволяють моделювати динамічні процеси в ШНМ.

Розглянемо один з тестових прикладів, в якому вирішується досить важке завдання прогнозування значень хаотичних часових послідовностей. Для передбачення значень трьох членів хаотичного ряду Mackey-Glass, який є еталонним тестом, обрана топологія TLRN (Time Lagged Recurrent Network) - рекурентна мережа з запізненням у часі, в якій зворотні зв'язки локально обмежені. Подібні мережі є розширенням багатоповільного перцептрона, який забезпечений структурами пам'яті. Вони містять зворотні зв'язки, однак проблема стійкості легко вирішується, а поведінка таких мереж добре зрозуміла. Мережі з подібною топологією підходять для вирішення проблем прогнозування, ідентифікації та класифікації об'єктів, що змінюються в часі. Вихідний сигнал динамічної системи можна передбачити на короткий термін, але будь-яка мала помилка в таких мережах збільшується з часом через притаманного їм внутрішнього чинника неузгодженості - позитивної експоненти Ляпунова. У таких мережах реалізована структура пам'яті Laguerre, яка має зручні властивості, що дозволяють контролювати глибину запам'ятовування за допомогою єдиного адаптивного параметра. У пам'яті такого типу може зберігатися K/u оброблених в минулому об'єктів, де K – число вихідних сигналів; u – параметр пам'яті.

Рекурентна мережа не може бути навчена стандартним методом зворотного поширення помилки. NeuroSolutions містить модифікацію цього алгоритму, що дозволяє проводити навчання динамічної мережі. Нейрони вихідного шару зазвичай мають лінійну передавальну функцію. Такий вибір

обумовлений прагненням відтворити хвильову форму вихідного сигналу. Нелінійності можуть викликати отримання неприпустимих значень в екстремальних точках і привести до помилок. Для нейронів вхідного шару і прихованих шарів, як правило, підбираються нелінійні активаційні функції. У процесі виконання завдання визначається обсяг навчальної та тестуючої вибірки, в зручному режимі конструюється архітектура мережі (кількість прихованих шарів, число нейронів), вибирається вид активаційних функцій, спосіб і параметри навчання.

5.6 Використання методів нейромережевих технологій в функціонуванні та прогнозуванні характеристик транспортних і виробничих систем

Визначено, що використання методів нейромережевих технологій доцільно при вирішенні завдань, яким властиві наступні ознаки:

- при наявності великого числа прикладів відсутні алгоритми вирішень завдань;
- наявність великого обсягу вхідної інформації;
- зашумленість, часткова суперечливість, неповнота або надмірність вихідних даних.

Методи нейромережеві технології знайшли широке застосування у розпізнаванні друкованого тексту, контролі якості продукції на виробництві, ідентифікації станів і процесів, при керуванні й оптимізації, фінансовому аналізі, прогнозуванні та ін. Нейромережеві технології мають можливості використання для класифікації та аналізу часових рядів шляхом апроксимації складних нелінійних функцій. Експериментально встановлено, що моделі нейронних мереж забезпечують більшу точність при виявленні нелінійних закономірностей у порівнянні з регресійними моделями [13, 24, 37, 38].

Продемонструємо процес розв'язання завдання прогнозування оцінки прибутковості транспортного або виробничого підприємства X. Для моделювання скористаємося даними спостережень за місяць. В якості вихідних даних можна використовувати індикатори Dow Jones, NIKKEI, FTSE100, індекси та акції компаній, "сезонні" змінні та ін.

Відносний показник одноденної прибутковості підприємства можна визначити із співвідношень:

$$R_i = \begin{cases} \Delta P_i; \\ -\Delta P_i; \\ \Delta P_i = P_i - P_{i-1} \end{cases}; \quad (5.9)$$

де ΔP_i – оцінка операції "вчора купив акції, сьогодні продав"; $-\Delta P_i$ – оцінка операції "вчора продав акції, сьогодні купив"; P_i – значення вибраного показника доходу в i -й день; P_{i-1} – значення показника в $(i-1)$ -й день.

Загальний дохід за встановлений інтервал часу (n днів) розраховується за формулою:

$$R = \sum_{i=1}^n (1 + \Delta P_i) - 1. \quad (5.10)$$

Таблиця 5.1 – Результати оцінки прибутковості підприємства з використанням різних моделей ШНМ, а також доходів "ідеального" трейдера.

Індикатори	Прибуток за 30 днів
Стандартна тришарова мережа	0.1919
Стандартна чотиришарова мережа	-0.1182
Рекурентна мережа зі зворотнім негативним зв'язком від прихованого шару	0.1378
Рекурентна мережа з негативним зворотнім зв'язком	0.4545
Мережа Ворда: з трьома прихованими блоками, з різними передаточними функціями	0.2656
Тришарова мережа з обхідним з'єднанням	-0.1889
Чотиришарова мережа з обхідними з'єднаннями	0.0003
Мережа з загальною регресією	0.3835
Мережа методу групового обліку аргументів	0.1065
Мережа Ворда: з трьома прихованими блоками, з різними передаточними функціями, з обхідним з'єднанням	-0.1166
"Ідеальний" трейдер	1.4448

"Ідеальний трейдер" знає ціну, а тому отримує максимально можливий прибуток. Трейдер користується значенням нейромережевого індикатора наступним чином: на основі прогнозованого в $(i-1)$ -й день значення ΔP_{i-1} , (величина щодо зміни ціни закриття по акціях даного підприємства X на завтрашній i -й день) приймається рішення про купівлю ($\Delta P_i > 0$) або продаж ($\Delta P_i < 0$) акцій [25, 34-36].

Аналіз результатів моделювання показує, що кращу прибутковість забезпечує рекурентна мережа з негативним зворотним зв'язком (45% за 30 днів). Динаміка зміни одноденних показників прибутковості, отриманих за допомогою цієї ШНМ, наведена на рис 5.5.

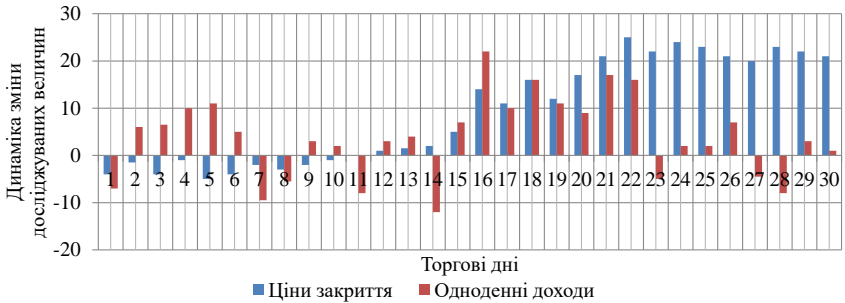


Рисунок 5.5 – Динаміка змін односторонніх доходів R_i і цін закриття P_i за 30 днів, отриманих за допомогою рекурентної мережі з від’ємним зворотнім зв’язком на підприємстві, формі

Великі можливості мають нейромережеві технології в маркетингу для моделювання поведінки клієнтів і розподілу їх часток в ринку. Вони дозволяють відшукувати в маркетингових базах даних приховані закономірності. Моделювання поведінки клієнтів дозволяє визначити характеристики людей, які будуть належним чином реагувати на рекламу і здійснювати купівлю певного товару або послуги. Сегментування і моделювання ринків на основі нейромережевих технологій дає можливість побудови гнучких класифікаційних систем, здатних здійснювати сегментування ринків з урахуванням різноманіття чинників і особливостей кожного клієнта [26-28, 31, 32].

Методи технологій ШНМ мають хороші перспективи при вирішенні завдань імітації і передбачення поведінкових характеристик менеджерів і завдань прогнозування ризиків при видачі кредитів. Не менш актуальне застосування ШНМ при виборі клієнтів для іпотечного кредитування, передбачення банкрутства клієнтів банку, визначення шахрайських операцій при використанні кредитних карток, складання рейтингів клієнтів при позиках з фіксованими платежами і т.п.

Застосування методів нейромережевих технологій може бути пов’язане з певними проблемами і недоліками:

1. Для створення прийнятної моделі необхідно мінімум 50, а краще 100 спостережень, оскільки при дефіциті інформації моделі ШНМ будують в умовах неповних даних і відповідно проводять необхідне послідовне уточнення.

2. Побудова зовнішньої моделі ШНМ вимагає значних витрат праці і часу. Необхідно враховувати, що надмірно висока точність, отримана на навчальній вибірці, може обернутися нестійкістю результатів на тестовій вибірці (факт "перенавчання") мережі.

3. Чим краще система адаптована до конкретних умов, тим менше вона здатна до узагальнення та екстраполяції і тим швидше виявляється непрацездатною при зміні цих умов. Розширення обсягу навчальної вибірки збільшує стійкість системи, але за рахунок збільшення часу навчання.

4. При навчанні ШНМ можуть виникати "пастки", пов'язані з влученням в локальні мінімуми. Детермінований алгоритм навчання не в силах виявити глобальний екстремум або покинути локальний мінімум. Щоб подолати цей недолік слід розширити розмірність простору питомої ваги за рахунок збільшення числа нейронів схованих шарів.

5. Деякі можливості для вирішення проблем відкривають стохастичні методи навчання. При модифікації ваги мережі тільки на основі інформації про напрям вектора градієнта цільової функції в просторі питомої ваги можна досягти локального мінімуму, але неможливо вийти з нього, оскільки в точці екстремуму "рушійна сила" (градієнт) обертається в нуль і причина руху зникає.

6. Щоб залишити локальний екстремум і перейти до пошуку глобального екстремуму, потрібно створити додаткову силу, яка буде залежати не від градієнта цільової функції, а від якихось інших факторів. Один з найпростіших методів полягає в тому, щоб просто створити випадкову силу і додати її до детерміністської.

7. Логістичний характер передавальної функції нейрона є причиною того, що в процесі навчання кілька вагових коефіцієнтів стали занадто великими, то нейрон потрапляє на горизонтальну ділянку функції в область насичення. При цьому зміни іншої ваги, навіть досить великі, практично не позначаються на величині вихідного сигналу такого нейрона, а значить, і на величині цільової функції.

8. Невдалий вибір діапазону вхідних змінних – досить елементарна, але часто здійснювана помилка. Двійкова змінна x_i зі значеннями 0 і 1, в половині випадків набуває нульове значення: $x_i = 0$. Оскільки x_i входить у вираз для модифікації ваги у вигляді співмножника, то ефект буде аналогічний насиченню: модифікація відповідної ваги буде заблокованою. Правильний діапазон для вхідних змінних повинен бути симетричним, наприклад від +1 до -1 [2, 12, 29, 30, 33].

9. Процес вирішення завдань ШНМ є "непрозорим" для користувача, що може викликати з його боку недовіру до прогнозуючим здатностям мережі.

10. Передбачувальна здатність ШНМ істотно знижується, якщо дані, що надходять на вхід мають значні відмінності від прикладів, на яких вона навчалася. Цей недолік проявляється при вирішенні завдань економічного прогнозування стану підприємств.

11. Відсутність теоретично обґрунтованих правила конструювання і ефективного навчання нейронних мереж призводить до втрати нейронними мережами здатності узагальнювати конкретні предметні області в станах перенавчання.

Висновки по розділу 5

1. Показано, що для вирішення слабоструктурованих і практично неформалізованих завдань доцільним є використання моделей штучних нейронних мереж. Дано опис цієї моделі та наведено схему кібернетичної моделі нейрона. Зазначено, що остання модель являє собою дискретно-безперервний перетворювач інформації. Вид передавальної функції є найважливішою характеристикою нейрону. В загальному вигляді ця функція може бути лінійною, ступінчастою (пороговою) або нелінійною. Певним компромісом між лінійною і ступінчастою функціями є логістична (сигмоїдальна) функція.

2. Розглянута модель нейронної мережі і створений на її основі електронний пристрій – перцентрон, можлива модифікація міжнейронних зв'язків. Оскільки перші моделі перцентрона були здатні розпізнавати деякі літери латинського алфавіту, то розроблено алгоритм навчання перцентрона. Зазначено, що багат шаровий перцентрон встановлює зв'язки між нейронами сусідніх шарів. Показано, що структура нейронної мережі визначається типом багат шарового нейрону. Наведено схему і дано опис рекурентної нейронної мережі, визначено переваги і недоліки, а також те, що нейронні мережі самоорганізуються.

3. З'ясовано, що нейромережеві технології успішно застосовуються при вирішенні завдань прогнозування, розпізнавання і узагальнення. Дано опис етапів побудови нейромережевої моделі. Особливу увагу приділено четвертому етапу, пов'язаному з навчанням мережі на основі конструктивного та деструктивного підходів. В процесі навчання нейронної мережі уточнюється значення вагових коефіцієнтів для окремих вузлів на основі поступового збільшення обсягу вхідної та вихідної інформації.

4. Зазначено, що навчання нейронної мережі полягає в зміні внутрішніх параметрів таким чином, щоб на виході штучних нейромереж генерувався вектор значень, щоб на виході штучних нейромереж генерувався вектор значень, що співпадає з результатами прикладів навчальної вибірки. Зміна параметрів моделі може виконуватися різними способами відповідно до різних алгоритмів навчання.

5. Навчання нейронних мереж за прикладами характеризується трьома основними властивостями: ємність, складність зразків, обчислювальна складність. Зазначено основні правила навчання: корекція за помилкою, правило Хебба, метод змагання, зворотною поширення помилки. Розглянуто можливість цих правил. Дано опис навчання нейронних мереж. Відмічено, що навчання триває до тих пір, поки помилка не зменшиться до заданої величини. Алгоритм зворотного поширення використовується для навчання мереж із зворотними зв'язками. При цьому враховується еквівалентність багат шарової мережі з прямими зв'язками та синхронної із зворотними зв'язками.

6. Нейронні мережі реалізуються програмним або апаратним способом. Проаналізовані перспективні розробки фірм в США та Японії. Наведено ряд програмних документів забезпечення функціонування нейронних мереж.

7. Методи нейромережевих технологій можливо використовувати для класифікації та аналізу часових рядів шляхом апроксимації складних нейронних функцій. Встановлено, що моделі нейронних мереж забезпечують більшу точність при виявленні нелінійних закономірностей у порівнянні з регресійними мережами. Аналіз результатів моделювання показує, що кращу прибутковість забезпечує рекурентна мережа з негативним зворотним зв'язком. Нейромережеві технології дозволяють відшукувати в маркетингових базах даних приховані закономірності. Зазначено, що застосування методів нейромережевих технологій не завжди можливо і пов'язано з певними проблемами і недоліками. До того ж відсутні теоретичні обґрунтування правила конструювання і ефективність навчання нейронних мереж.

РОЗДІЛ 6. ЕВОЛЮЦІЙНІ МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ГЕНЕТИЧНІ АЛГОРИТМИ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ І ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМАХ

6.1 Моделювання еволюційних процесів та генетичні алгоритми в інтелектуальних системах

Еволюційне моделювання в інтелектуальних системах – це відтворення процесів природної еволюції за допомогою комп'ютерного моделювання. В обмеженому сенсі еволюція стосується зміни стадій створення та функціонування ІС. Необхідні і достатні умови, що визначають головні фактори еволюції, які були сформульовані на основі створеної для популяції генетичної теорії [1]. До таких факторів відносяться:

- спадкова мінливість, як передумова еволюції;
- боротьба за існування, як контролюючий і спрямовуючий фактор;
- еволюційна зміна стану, як перетворюючий фактор.

На рис. 6.1 приведена конкретизація факторів еволюції, з різноманітним форм їх прояву, взаємозв'язками і взаємовпливом в різних системах [11].

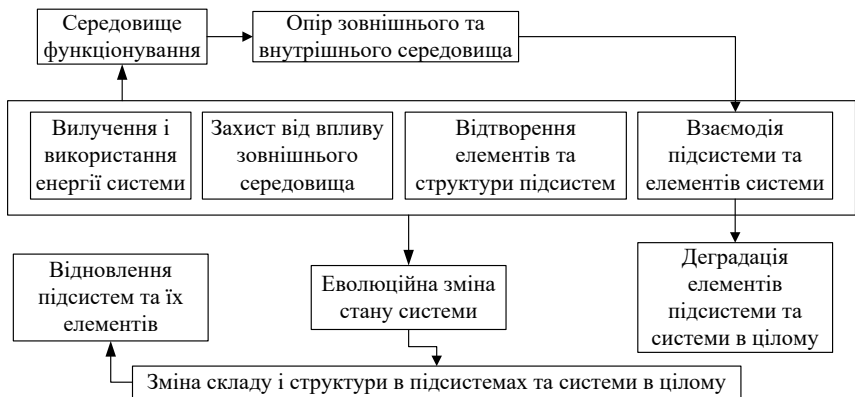


Рисунок 6.1 – Схема взаємодіючих факторів еволюції інтелектуальних систем різної природи

Головні фактори на схемі виділені пунктиром. Зазначимо, що сучасна теорія еволюції базується на теорії загальної та популяційної генетики, теорії зміни стану ІС. Перетворення та різні типи трансформацій, в інтелектуальних системах відбуваються під управлінням еволюційної зміни їх стану.

Еволюція в ІС – це багатоетапний процес виникнення структурних форм, станів в системах з більш високим ступенем організації, який характеризується мінливістю самих еволюційних механізмів та ефективним функціонуванням.

Історія еволюційних обчислень характеризується розробкою ряду незалежних моделей, серед яких були генетичні алгоритми (ГА) і класифікаційні системи, створені американським дослідником Дж. Холландом [2]. Він запропонував використовувати в будь-яких системах, в т.ч. транспортних і виробничих, технічні методи і моделі розвитку органічного світу в якості механізму комбінаторного перебору варіантів при вирішенні оптимізаційних завдань [14, 26]. Комп'ютерні реалізації цього механізму є генетичними алгоритмами. В межах теорії випадкового пошуку Л.А. Растрігіна запропоновано ряд алгоритмів, що використовують ідеї біонічної поведінки об'єктів [10]. Розвиток цих ідей знайшов відображення в циклі робіт І. Л. Букатової з еволюційного моделювання [2, 3]. Ідеї М.Л. Цетлін, розвинені в дослідженнях поведінки кінцевих автоматів, лягли в основу алгоритмів пошуку глобального екстремуму, заснованих на моделюванні процесів розвитку і елімінації [15]. Великий внесок у розвиток еволюційного програмування (ЕП) внесли роботи Л. Фогеля, А. Оуенса і М. Уолша [12, 20, 21, 33].

Аналіз досліджень в цьому напрямі свідчить, що до основних напрямів розвитку еволюційного моделювання на сучасному етапі можливо віднести наступні:

- розробка і впровадження ГА, призначених для оптимізації функцій дискретних змінних, що описують зміну станів, якщо використовувати аналогії природних процесів рекомбінації і селекції;
- проведення класифікації систем, створених на основі ГА, які використовуються в управлінні транспортними та виробничими системами;
- розробка генетичного програмування (ГП), заснованого на використанні еволюційних методів оптимізації створюваних комп'ютерних програм;
- розробка ЕП, орієнтованого на оптимізацію безперервних функцій станів систем, без використання рекомбінації;
- розробка еволюційної стратегії, орієнтованої на оптимізацію безперервних функцій станів систем, з використанням рекомбінації.

Виявлено, що еволюційні методи доцільно використовувати в тих випадках, коли прикладні проблеми та завдання складно сформулювати в аналітичному вигляді, або неможливо знайти аналітичне рішення. В той час обставини вимагають принаймні швидкого та наближеного результату в прийнятних межах. Методи використовуються в управлінні транспортними та виробничими системами. Еволюційні методи розробляються науковими школами під керівництвом професорів І.Л. Букатової [2, 3], Д.І. Батищева [1], В.М. Курейчика [7-9] і І.П. Норенкова та ін. [6].

Оскільки в основу ГА покладено аналоги методів генетики і хромосомної теорії еволюції організмів, то розглянемо їх сутність та основні елементи. Основним поняттям є хромосоми - це ниткоподібні структури, що знаходяться в клітинному ядрі, які є носіями спадковості. Кожна хромосома унікальна морфологічно і генетично і не може бути замінена іншою або відновлена при її втраті. При втраті хромосом клітина, як правило, гине.

Кожен біологічний вид має певну, постійну кількість хромосом. Кожна клітина містить подвоєний набір морфологічно і генетично подібних хромосом. Наприклад, в клітинах людини міститься 23 пари хромосом.

Поведінка хромосом під час поділу ділення клітин істотно впливає на процес успадкування ознак. Існує мітозне і мейозне ділення клітин. Мітозне ділення забезпечує розподіл вихідних хромосом між двома частинами поділу клітини й утворюються дочірніми клітинами, які будуть мати рівноцінні набори хромосом і будуть дуже схожі один на одного. Редуплікація вихідних хромосом, відбувається до моменту поділу клітини. Кожна з хромосом повинна складатися з двох копій вихідної материнської хромосоми - сестринських хроматид.

При цьому мейоз супроводжується двома послідовними поділами: редукційним і екваційним. Це обумовлює на утворення клітин, у яких число хромосом вдвічі менше в порівнянні з вихідною клітиною. У фазі редукції спостерігаються хроматиди обмін генами, як ділянками дезоксирибонуклеїнової кислоти (ДНК). Після цього клітина поділяється на дві нові, причому кожна з них містить подвоєний набір хромосом, структури яких відрізняються від вихідних. Механізм обміну генами є кросинговером. В результаті екваційного ділення з двох одержаних клітин утворюються чотири клітини, кожна з яких містить поодинокий набір хромосом. Отже забезпечується відновлення клітин, а мейоз відповідає за передачу спадкової інформації і сприяє генетичній різноманітності організмів.

Класична генетика обґрунтувала спадковість і мінливість стану завдяки створенню фундаментальної теорії гена, основні положення якої полягають в наступному:

- всі ознаки організму визначаються наборами генів;
- гени – це елементарні одиниці спадкової інформації, які знаходяться в хромосомах;
- гени можуть змінюватися – мутувати;
- мутації окремих генів призводять до зміни елементарних ознак організму, або фенів.

Ген визначається як структурна одиниця спадкової інформації, але вона неподільна в функціональному відношенні. Ген являє собою ділянку молекули ДНК, на якій зберігається постійний порядок проходження пар нуклеотидів. Комплекс генів, що містяться в наборі хромосом одного організму, утворює молекулу ДНК. Роль молекул ДНК, що володіють унікальною здатністю до самовідтворення, полягає в збереженні і передачі генетичної інформації наступним поколінням.

В процесі пошуку оптимальних рішень кожне із них, що входить до множини можливих рішень, можна уявити набором інформації, яка може бути змінена шляхом введення елементів іншого рішення. По аналогії можна стверджувати, що рішення в досліджуваних системах відповідають хромосомам, які складаються з генів, причому в ході оптимізації відбувається обмін генами між хромосомами (рекомбінація). При побудові ГА важливим є вибір принципу генетичної рекомбінації. Методи генетики та хромосомної

теорії еволюції організмів дають можливість виявити декілька типів спадкових факторів рекомбінації:

- хромосомних і нехромосомних генів;
- цільових негомологічних хромосом;
- ділянок хромосом, представлених безперервними молекулами ДНК.

При побудові генетичних алгоритмів найбільший інтерес представляє третій тип рекомбінації, який використовується для накопичення, при остаточному вирішенні, кращих функціональних ознак, наявних в наборі вихідних рішень. Існує кілька типів рекомбінації ділянок хромосом: кросинговер, сайт, ілгальна рекомбінація. Розглянемо їх сутність. Що стосується кросинговера, то він відповідає регулярній рекомбінації, обмін ділянками між гомологічними хромосомами. Він призводить до появи нового поєднання зчеплених генів. Якщо сайт розглядати як вид рекомбінації, то на коротких спеціалізованих ділянках хромосом відбувається обмін геноформом (генних носіїв), які часто різні за обсягом та складом генетичної інформації. Ілгальна рекомбінація допускає негомологічні обміни, до яких відносяться транслокації, інверсії і випадки не рівного кросинговеру. Такі способи негомологічного обміну можуть бути корисними при генерації нових рішень в досліджуваних системах.

У ГА найбільшого поширення набув кросинговер, який полягає в розриві гомологічних хроматид з подальшим новим їх поєднанням. Його схема для утворення двох нових хромосом, що відображена на рис. 6.2.

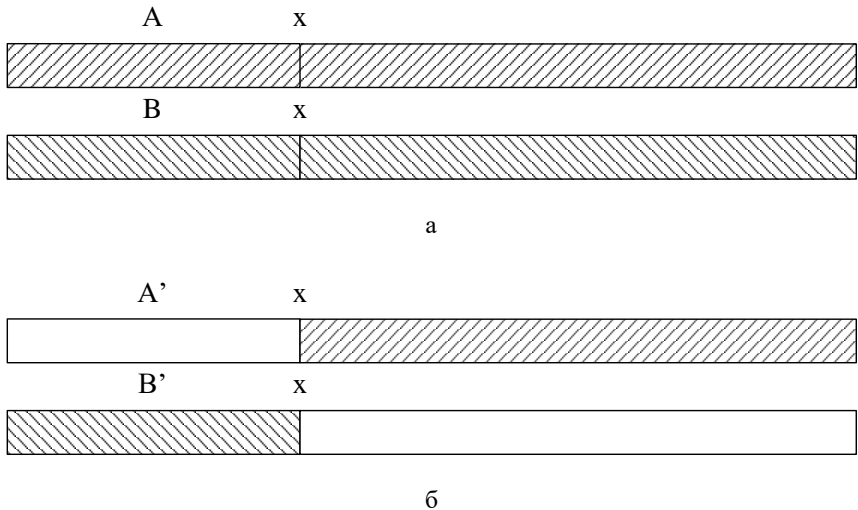


Рисунок 6.2 – Схема кросинговеру: а) батьківські хромосоми А, В до кросинговеру; б) хромосоми-нащадки А', В' після кросинговеру

Основна мета кросинговеру полягає в створенні з наявного генетичного матеріалу бажаної комбінації ознак, реалізованих в одному рішенні. Кросинговер може відбуватися в декількох точках. Схематично створення подвійного кросинговеру між хромосомами f і w наведено на рис. 6.3.

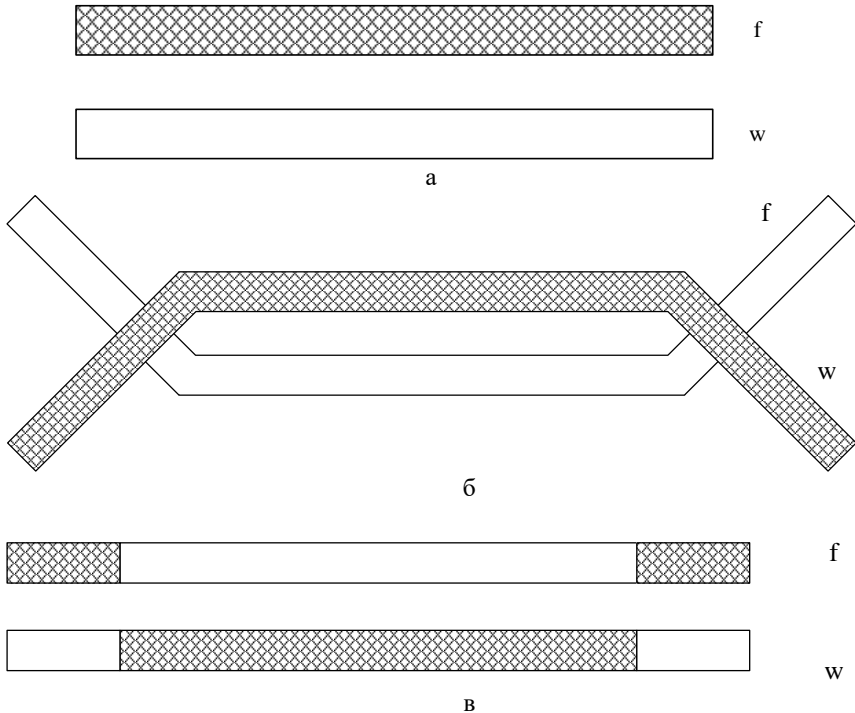


Рисунок 6.3 – Схема створення подвійного кросинговеру: а) до кросинговера; б) під час кросинговера; в) після кросинговера

Крім кросинговеру для вирішення різних прикладних завдань в ІС корисними є механізми таких генетичних операцій, як мутація, інверсія, транслокація, селекція (інбридинг і гібридизація), генна інженерія. При цьому доречним є з'ясування змісту цих понять. Під мутацією розуміють генетичну зміну, що приводить до якісно нового прояву основних властивостей генетичного матеріалу: дискретності, безперервності або лінійності. Властивість дискретності дозволяє виділити у вихідному генетичному матеріалі окремі фрагменти, які контролюють ті чи інші функції. За умов безперервності деякі комбінації генів контролюють певну функцію. При цьому її лінійність відображається в певній послідовності генів в межах групи зчеплення, що отримуються в результаті протікання процесів мутації ведуть

до отримання більш різноманітний генетичний матеріал. У операції мутації в ГА направленість здійснено на отримання рішень, які не можуть бути поліпшені якісно за допомогою кросінговеру.

Різновидом хромосомної мутації є інверсія, транслокація, транспозиція, делеція, дуплікація та ін. [7]. При інверсії ділянка хромосоми повертається на 180°. Транслокація полягає в перенесенні частини однієї хромосоми в іншу. Переміщення невеликих ділянок генетичного матеріалу в межах однієї хромосоми є транспозицією. Випадання окремих ділянок хромосом є делецією повторення ділянки генетичного матеріалу – дуплікація.

Селекція являє собою форму відбору, який може бути масовим або індивідуальним. Встановлено, що масовий відбір за фенотипом (сукупності всіх зовнішніх і внутрішніх ознак) менш ефективний, ніж індивідуальний, коли популяцію ділять на окремі лінії, а для розмноження вибирають носіїв бажаних властивостей. Просуванню процедури селекції в ГА при оптимізації сприяє прискоренню процесу синтезу шуканого рішення.

Генна інженерія являє собою сукупність методів отримання рекомбінантних молекул ДНК і операцій над ними. Рекомбінантна ДНК синтезується шляхом об'єднання фрагментів ДНК різних організмів. Використання підходів генної інженерії дозволяє в ряді завдань значно швидше знаходити бажане рішення. Механізм еволюції в генній інженерії заснований на трьох повторюваних процесах: відбір, ампліфікації (процес виробництва наслідків) і мутації. Він використовується в якості механізму випадково спрямованого комбінаторного перебору при вирішенні завдань оптимізації і слабоструктурованих проблем прийняття рішень.

Виходячи із зазначеного, ГА є пошуковими алгоритмами, заснованими на механізмах подібних до механізмів селекції і генетики. Ці алгоритми забезпечують виживання найсильніших рішень з множини згенерованих, формуючи і змінюючи процес їх пошуку на основі моделювання еволюції вихідної популяції рішень. ГА побудовані так, що при генерації кожної нової множини рішень використовуються фрагменти їх вихідних варіантів. При цьому до них додаються нові елементи, що забезпечують поліпшення рішень щодо сформульованого критерію їх відбору. Отже, ГА використовують інформацію, накопичену системою в процесі еволюції її функціонування [2, 3, 7, 8, 16, 22-26, 34].

Звісно, методи генетичних алгоритмів мають специфічні терміни, взяті з генетики та хромосомної теорії, але можливе їх використання для розгляду принципів побудови та функціонування систем будь-якої природи. При цьому слід навести їх трактування (табл. 6.1).

При розробці генетичних алгоритмів вирішуються дві головні цілі:

- абстрактне і формальне пояснення процесів адаптації в природних, технічних системах;

- проектування штучних систем, що відтворюють механізми функціонування систем різної природи в т.ч. транспортні і виробничі.

Таблиця 6.1 – Трактування термінів генетики і хромосомної теорії для розв'язання завдань інтелектуальних систем різного типу і природи

№	Специфічні терміни в генетиці та хромосомній теорії	Трактування їх у генетичних алгоритмів розв'язання проблем і завдань в інтелектуальних системах різної природи
1	Хромосома (набір хромосом)	Рішення, послідовність, спадковість
2	Популяція	Набір рішень, множина рішень
3	Локус	Місцеположення елемента підсистеми
4	Покоління	Цикл роботи генетичного алгоритму, в процесі якого згенерована множина рішень
5	Ген	Елемент, характеристика, особлива риса, властивості
6	Алель	Значення елемента, характеристики
7	Фенотип	Структура
8	Епістасис	Множина параметрів, альтернативні рішення
9	Схрещування, рекомбінація, кросинговер	Оператор рекомбінації
10	Мутація	Оператор модифікації

Зазначимо відмінності ГА за алгоритмами оптимізації:

- використовуються не значення параметрів, а закодована множина параметрів;
- пошук здійснюється не з єдиної точки, а з набору точок;
- в процесі пошуку використовуються значення цільової функції, а не її збільшення;
- застосовуються імовірнісні та недетерміновані правила пошуку і генерації рішень;
- виконується одночасний аналіз різних областей простору рішень, у зв'язку з чим можливе знаходження нових областей з найкращими значеннями цільової функції за рахунок об'єднання квазіоптимальних рішень з різними їх наборами або множинами.

6.2 Генетичні схеми пошуку оптимальних рішень в інтелектуальних системах

Згідно репродуктивного плану Холланда [14, 26, 35-37] генетичні схеми пошуку оптимальних рішень враховують етапи процесу еволюції:

1. Конструюється початковий набір рішень (вводиться початкова точка відліку поколінь $t = 0$) і визначається пристосованість рішень, набору рішень (цільової функції) та середня пристосованість всього набору рішень.

2. Встановлюється значення $t^* = t + 1$, тобто вибираються два рішення для кросинговеру (оператору модифікації) і вибір здійснюється випадковим

чином пропорційно їх життєздатності, яка характеризується значеннями цільової функції.

3. Формується рішення – нащадок. Для цього із заданою ймовірністю над елементами і підсистемами обраних рішень проводять операцію модифікації. Випадковим чином вибирають одне з рішень-нащадків $A(t)$, яке зберігається як компонента нового набору рішень. Далі до рішень нащадка $A(t)$ послідовно з заданими ймовірностями застосовують оператори інверсії і модифікації. Отримане в результаті рішення-нащадок зберігається як $A'(t)$.

4. Оновлення поточного набору рішень шляхом заміни випадково обраного рішення на $A'(t)$.

5. Визначення пристосованості рішення $A'(t)$ і перерахунок середньої пристосованості набору рішень.

6. Якщо $t = t^*$, де t^* – задане число кроків, то здійснюється перехід до етапу 7, а в іншому випадку – повертаються до етапу 2.

7. Кінець роботи.

Основна ідея еволюції, закладена в різні конструкції генетичних алгоритмів, яка проявляється в здатності "кращих" рішень здійснювати більш істотний вплив на склад нового набору рішень за рахунок тривалого виживання і більшої множини рішень-покоління.

Простий генетичний алгоритм [23, 26] включає операцію випадкової генерації початкової сукупності рішень і ряду операторів, які забезпечують генерацію нових рішень на основі початкової сукупності. Цими операторами є відтворення, рекомбінація і модифікація.

Відтворення – це процес формування рішень з урахуванням значень цільової функції, тобто рішень з кращими значеннями цільової функції, ймовірності попадання в наступний набір рішень. Цей процес є аналогією мітозного ділення клітин. Вибір клітин (хромосом) для репродукції проводиться відповідно до принципу "виживання найсильнішого". Найпростішим способом представлення операції відтворення в алгоритмічній формі є колесо рулетки [38], в якому кожне рішення має поле, пропорційне значенню цільової функції.

Розглянемо приклад застосування простого ГА для максимізації функції $f(x) = x^2$ на цілочисельному інтервалі [31]. Значення аргументу функції $f(x)$, що змінюється в даному інтервалі, можна уявити п'ятирозрядними двійковими числами. Первісний набір, що складається з чотирьох рядків п'ятирозрядних чисел, отримано за допомогою процедури генерації випадкових чисел, результати якої приведені в другому стовпці табл. 6.2.

Значення цільової функції для кожного рішення визначають шляхом піднесення до квадрату значень двійкового числа, що кодує рішення x . Претенденти для рекомбінації (кросинговера) можуть вибиратися з початкового набору рішень або після виконання оператора відтворення.

Таблиця 6.2 – Аналіз початкового набору рішень на першому кроці простого генетичного алгоритму [7]

Номер рішення	Подвійний код рішення	Значення x	Значення $f(x)$	Нормування значення $f(x) = \sum f(x)$	Очікувана кількість рішень в наступному поколінні	Реальна кількість рішень в наступному поколінні
1	01101	13	169	0.14	0.56	1
2	11000	24	576	0.49	1.96	2
3	01000	8	64	0.06	0.24	0
4	10011	19	361	0.31	1.24	1
Сумарна цільова функція			1170	1.00	4.00	4
Середнє значення цільової функції			293	0.25	1.00	1
Максимальне значення цільової функції			576	0.49	1.97	2

Відтворення початкового набору полягає в чотириразовому обертанні колеса рулетки (4 – потужність набору), в результаті чого склад вихідного набору рішень може змінитися (рис. 6.4). Можливість вибору i -го рішення обчислюється за формулою:

$$P_i = \frac{f_i(x)}{\sum f(x)}, \quad (6.1)$$

де $f_i(x)$ – значення цільової функції i -го рішення в наборі рішень;
 $\sum f(x)$ – сумарне значення цільової функції всіх рішень в наборі.

Очікуване число копій i -го рішення після оператора відтворення дорівнює:

$$N = nP_i, \quad (6.2)$$

де n – число рішень, що аналізуються.

Число копій рішень, що переходять до наступного циклу, визначають за формулою:

$$A_i = \frac{\overline{f_i(x)}}{\overline{f(x)}}, \quad (6.3)$$

де $\overline{f(x)}$ – середнє значення цільової функції.

Розглянемо результати операцій відтворення і рекомбінації в ГА (табл.6.3).

Таблиця 6.3 – Результати операцій відтворення і рекомбінації рішень в простому генетичному алгоритмі

Номер рішень	Набір рішень після відтворення	Випадкові пари рішень	Точка розриву оператора рекомбінації	Набір рішень оператора рекомбінації	Значення x	Значення $f(x)$
1	0110 1	1-2	4	01100	12	144
2	1100 0	1-2	4	11001	25	625
3	11 000	3-4	2	11011	27	729
4	10 011	3-4	2	10000	16	256
Сумарне значення цільової функції $\Sigma f(x) = 1754$						
Середнє значення цільової функції $\overline{f(x)} = 439$						
Максимальне значення цільової функції $\max f(x) = 729$						

Аналіз даних свідчить, що значення N обчислені за формулою (6.2), для першого рішення дорівнюватиме $0.14 \times 4 = 0.56$ копій, для другої – $0.49 \times 4 = 1.96$ копій, для третьої – $0.06 \times 4 = 0.24$ і для четвертої – $0.31 \times 4 = 1.24$. В результаті відтворення в новому наборі рішень (другий стовпець в табл.6.3) будуть присутні по одній копії першого та четвертого рішень і дві копії другого, а третє рішення буде виключено. Таким способом оператор відтворення відбирає найкращих представників набору рішень.

На кроці 2 за допомогою колеса рулетки (рис.6.4) здійснюється вибір рішення із сукупності рішень.

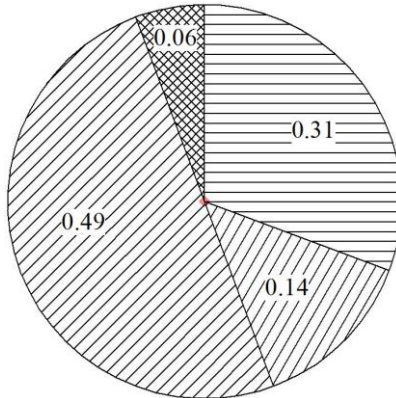


Рисунок 6.4 – Схематичне відображення колеса рулетки, що обертається

Поля колеса рулетки відповідають нормованим значенням цільової функції $f(x)$. Показники рулетки після зупинки колеса визначають обране

рішення. Слід зауважити, що випадковий механізм не гарантує вибору кращого рішення, тобто іноді результатом вибору можуть виявитися рішення з низькими значеннями цільової функції.

Після відтворення виконується оператор рекомбінації (кросинговеру), який може повторюватися кілька разів. При цьому кожного разу буде здійснюватися вибір двох кандидатур з множини рішень. Потім кожна пара рішень перетинається. Місце перетину вибирається випадковим чином на інтервалі $(1, L-1)$, де L – розмір рішень, який визначається кількістю значущих цифр в десятковому коді. У нашому випадку $L = 5$. Два нових рішення створюються шляхом взаємного обміну всіх значень після точки перетину, тобто між позиціями $(L+1)$ і L . При виборі двох перших рішень з набору (табл. 6.2) і значення $K = 4$ до застосування оператора кросинговера маємо опис:

$$\text{– початковий стан } \begin{cases} \text{рішення 1: } 0110|1 \\ \text{рішення 2: } 1100|0 \end{cases};$$

– після використання оператора рекомбінації (кросинговеру), отримуємо:

$$\text{– проміжний стан } \begin{cases} \text{рішення 1: } 0110|0 \\ \text{рішення 2: } 1100|1 \end{cases}.$$

Аналогічно були отримані проміжні стани від третього і четвертого рішень.

Аналіз отриманих результатів (табл.6.3) свідчить, що після проведення одного відтворення рішення покращилися і середнє, і максимальне значення цільової функції в порівнянні з початковим набором рішень (табл.6.2).

Згідно зі схемою простого ГА на кроці 3 виконується оператор модифікації, який відіграє істотну роль в еволюції систем, але менш значущий в ГА. Зазвичай вибирають одну модифікацію на 1000 біт. Оператор модифікації відносять до унарним операціям і реалізується в два етапи:

Етап 1. У рішенні $A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_{L-2}, a_{L-1}, a_L\}$ випадковим чином визначають дві позиції, наприклад, 2 і $L-1$.

Етап 2. Елементи, що відповідають обраним позиціям, змінюються місцями і формують нове рішення $A = \{a_1, a_{L-1}, a_3, \dots, a_{L-2}, a_2, a_L\}$.

Якщо довжина оброблюваних послідовностей невелика, то в процесі модифікації можна здійснити повний перебір можливих перестановок елементів і знайти комбінацію з максимальним значенням цільової функції. При розмірі рішення $L = 50 \dots 200$ повний перебір варіантів стає важким, тому розглядається випадково спрямований пошук, який може бути реалізовано на основі простого генетичного алгоритму. З'ясуємо цей механізм на досліджуваному завданні. Виберемо третє рішення з п'ятого стовпчика табл.6.2 зі значенням цільової функції $f(x) = 729$ і застосуємо операцію модифікації до позицій 3 і 4: рішення 3:11011 \rightarrow рішення 3':11101. У новому рішенні значення цільової функції дорівнює $(29)^2 = 841$. Зробимо ще одну

перестановку 4 і 5 елементів в рішенні 3': рішення 3': 11101 → рішення 3": 11110. Значення цільової функції для рішення 3" дорівнює 900, що відповідає квазіоптимальному вирішенню завдання про знаходження максимального значення цільової функції $f(x) - x^2$ на інтервалі [31, 39].

У ГА і ЕП використовують два основних механізми відтворення рішень:

- відтворення без модифікування, відповідне мітозу, результатом якого є проміжні стани – копії початкових станів;
- відтворення проміжних станів, що мають великі відмінності від початкових станів. Цей механізм відповідає процесу подовження відтворення станів систем.

У ГА в основному використовується механізм відтворення початкового стану [4] з рекомбінацією і модифікацією, а в ЕП – механізм на основі модифікації без рекомбінації.

В алгоритмічних реалізаціях механізму відтворення рішень слід дотримуватися наступних правил:

1. Вибір початкового набору рішень можна здійснювати довільним чином.
2. Відображення рішень здійснюється на основі моделювання руху колеса рулетки.
3. Оператор рекомбінації реалізується як взаємний обмін короткими фрагментами довільних рядів гомологічних рішень.
4. Імовірність оператора рекомбінації приймається рівною $P(CO) < 1.0$.
5. Імовірність оператора модифікування приймається рівною $P(MO) > 0.001$.

Генетичний алгоритм Девіса [25, 41] включає наступні кроки:

1. Ініціалізація набору рішень.
2. Оцінка кожного рішення в сукупності.
3. Створення нових рішень за допомогою зміни і схрещування поточних рішень (застосування операторів модифікації і рекомбінації).
4. Усунення рішення з сукупності для заміни їх новими.
5. Оцінка нових рішень і включення їх до сукупності.
6. Здійснення оцінки умови вичерпання ресурсу часу, який реалізується для виявлення оптимального рішення. Якщо час вичерпано, то робота алгоритму завершується і проводиться повернення до найкращого рішення, в іншому випадку - здійснюється перехід до кроку 3.

Холланд [14, 26, 40, 42] запропонував для ГА оператор інверсії, який реалізується за схемою:

1. Рішення $B = \{b_1, b_2, \dots, a_L\}$ вибирається випадковим чином з поточної сукупності рішень.
2. З множини $Y = \{0, 1, 2, \dots, L + 1\}$ випадковим чином вибираються два числа y_1 і y_2 та визначаються значення $x_1 = \min\{y_1, y_2\}$ і $x_2 = \max\{y_1, y_2\}$.

3. З рішення V формується нове рішення шляхом інверсії (зворотного порядку) сегмента, що лежить праворуч від позиції x_1 і зліва від позиції x_2 в рішенні V . Після застосування оператора інверсії рядок V набуде вигляду $V' = \{b_1, \dots, b_{x_1}, b_{x_2-1}, b_{x_2-2}, \dots, b_{x_2}, \dots, b_L\}$.

Оператори рекомбінації і модифікації, які використовуються в простому ГА, змінюють структуру рішення. Вони також можуть руйнувати вдалі фрагменти знайдених рішень, що зменшує ймовірність знаходження глобального оптимуму. Для усунення цього недоліку в ГА використовують схеми, що представляють собою фрагменти рішень, які бажано зберегти в процесі еволюції. При використанні схем в ГА вводиться новий алфавіт $\{0, 1, *\}$, де $*$ інтерпретується як "має значення 1 або 0". наприклад:

- схема $(*0000)$, відповідає двом рішенням $\{10000$ і $00000\}$;
- схема $(*111*)$ відповідає чотирьом рядкам (рішення) $\{01110, 11110, 01111, 11111\}$;
- схема $(0*1**)$ може відповідати восьми п'ятизначним рішенням.

У загальному випадку рішень розміром L максимально може мати 3^L схем (шаблонів), але тільки 2^L різних альтернативних рішень. Це впливає з факту, що схемі $(**)$ в загальному випадку можуть відповідати $3^2 = 9$ рішень, а саме $\{**, *1, *0, 1*, 0*, 00, 01, 1011\}$, і тільки $2^2 = 4$ є альтернативні – $\{00, 01, 10, 11\}$. Якщо в результаті реалізації генетичного алгоритму знайдено схеми типу $(11***)$ і $(**111)$, то враховуючи оператор рекомбінації, отримано рішення (11111) , з найкращим значенням цільової функції.

При цьому схеми невеликої довжини є будівельними блоками. Розмір будівельних блоків помітно впливає на якість і швидкість знаходження результату. Вид будівельного блоку вибирається з урахуванням специфіки розв'язуваного завдання, а їх розрив в генетичних алгоритмах допускається тільки у виняткових випадках, що визначаються користувачем. Наприклад, в схемі $(****1)$ будівельним блоком є елемент 1, а в схемі $(10****)$ – складовий елемент 10. При використанні великої кількості будівельних блоків ГА, засновані на випадковій генерації сукупності рішень й рішення, що переходять в розряд безладних.

Стационарні ГА відрізняються за циклами роботи тим, що у перших рішеннях розмір сукупності є заданим постійним параметром, який визначається користувачем, а у другому – розмір сукупності рішень в наступних генераціях може збільшуватися або зменшуватися. Процедура видалення зайвих рішень в стационарних і циклах роботи ГА заснована на евристичних правилах, прикладами яких є наступні:

- випадкове рівноімовірне видалення рішення;
- видалення рішень, що мають гірші значення цільової функції;
- видалення рішень на основі зворотного значення цільової функції;
- видалення рішень на основі турнірної стратегії.

Слід мати на увазі, що використання в генетичних алгоритмах тих чи інших евристичних правил видалення рішень може спричинити за собою негативні наслідки. Наприклад, видалення гірших рішень призводить до передчасної втрати різноманітності і, як наслідок, до потрапляння цільової

функції в локальний оптимум, а при наявності великого числа рішень з поганими значеннями цільова функція втрачає спрямованість пошуку.

Нагадаємо фундаментальну теорему генетичного алгоритму: нехай в момент часу t в наборі $S(t)$ міститься множина рішень S_j , $j = 1, 2, \dots, n$, а схема H будується на основі алфавіту $V = \{0, 1, *\}$, тоді схема може бути визначена на двійковому рішенні розміром L .

Очевидним є те, що для алфавіту потужності M існує $(M+1)^L$ схем і $n \cdot 2^L$ схем, що містяться в наборі розміру n , оскільки рішення представляється двома схемами. Для кількісної оцінки схем використовують дві характеристики: порядок схеми $0(H)$ і певна довжина схеми $L(H)$. Порядок схеми визначає число закріплених позицій (у двійковому алфавіті – число одиниць та нулів), представлених в шаблоні. Певна довжина схеми – це відстань між першою і останньою числовими позиціями ряду.

Припустимо, що задані крок за часом t і m прикладів схем H , що містяться в наборі рішень $S(t)$, які визначають можливе число різних схем H при заданому t , тобто $m = m(H, t)$. В процесі відтворення ймовірність попадання рішення S_i дорівнює $P_i = \frac{f_i(x)}{\sum f(x)}$, тобто залежить від значення

цільової функції. За час $t+1$ в наборі рішень $S(t)$ очікується отримання $m(H, t+1)$ представників схеми H , яке обчислюється за формулою:

$$m(H, t+1) = m(H, t) n \frac{\overline{f(H)}}{\sum f(x)}, \quad (6.4)$$

де $\overline{f(H)}$ – середнє значення цільової функції рішень, представлених схемою H за час t .

Середнє значення цільової функції для станів всієї системи дорівнює:

$$\overline{f(S)} = \sum f(x) / n, \text{ то } m(H, t+1) = m(H, t) \frac{\overline{f(H)}}{\overline{f(S)}}. \quad (6.5)$$

Ця формула свідчить про те, що збільшення кількості часткових схем визначається відношенням середнього значення цільової функції схеми до середнього значення цільової функції набору рішень. Тому схема, для якої значення цільової функції $\overline{f(H)}$ вище $\overline{f(S)}$, має велику ймовірність копіювання. Для останнього існує правило Холланда: схема зі значенням цільової функції вище середнього живе і копіюється, а схема зі значенням нижче середнього – зникає. Якщо припустити, що схема H є життєздатною, то $\overline{f(H)} \geq \overline{f(S)}$. Тоді значення цільової функції для схеми H можна виразити через середнє значення для всього набору рішень, наприклад, наступним чином: $(1+c)\overline{f(S)}$, де c – константа. Число представників схеми в наступному поколінні дорівнює:

$$m(H, t+1) = m(H, t) \frac{(1+c)\overline{f(H)}}{f(S)} = (1+c)m(H, t). \quad (6.6)$$

Якщо прийняти значення c постійними у часі, то за період $0 \leq t \leq t^*$ можна обчислити кількість представників схеми H за формулою $m(H, t) = (1+c)^{t^*} m(H, 0)$, з якої випливає, що відтворення може призвести до експоненціального збільшення ($c > 0$) або зменшення ($c < 0$) числа схем.

При цьому доречною є наступна лема: якщо на певному етапі ГА P_1 має ймовірність того, що рішення A породжує проміжний стан, і P_2 має ймовірність, що A знищується, то очікуване число проміжних станів A . Рішення дорівнює P_1 / P_2 [26]. Ймовірність виживання рішення A на кроці t після операції відтворення визначається за формулою:

$$P_s(t) = (1 - P_2)^{t-1} P_2, \quad (6.7)$$

де $t = 1, 2, \dots, g$; g – число кроків (генерацій) ГА. Значення ймовірності виживання рішення змінюється після операцій рекомбінації і модифікації. Використання оператора рекомбінації може викликати збільшення або зменшення числа схем в модифікації. Якщо рекомбінація не застосовується, то обмін між рішеннями відсутній, тому пошуковий простір не збільшується, і процес загасає.

Ймовірність виживання схеми після застосування оператора рекомбінації визначається за формулою:

$$P_s(H) = 1 - \frac{O(H)}{L-1}, \quad (6.8)$$

де $O(H)$ – порядок схеми; L – розмір рішення.

Якщо оператор рекомбінації виконується на основі випадкового вибору з ймовірністю $P(CO)$, то ймовірність виживання схеми визначається за формулою:

$$P_s(H) \geq 1 - \frac{P(CO)L(H)}{L-1}, \quad (6.9)$$

де $L(H)$ – визначений розмір схеми. Наведений вираз свідчить про те, що ймовірність виживання схеми зменшується при зростанні $P(CO)$.

Обчислимо число схем N в новій генерації після операцій відтворення і рекомбінації, допускаючи їх взаємну незалежність:

$$m(H, t+1) \geq m(H, t) \frac{\overline{f(H)}}{f(S)} \left[1 - \frac{P(CO)L(H)}{L-1} \right]. \quad (6.10)$$

З цього виразу випливає, що число схем $m(H, t+1)$ залежить від значень цільової функції для схеми і для всього набору рішень, а також від розміру схеми $L(H)$.

Розглянемо вплив операції модифікації на виживання схем. Відомо, що єдине рішення виживає з ймовірністю $1-P(MO)$, де $P(MO)$ – ймовірність оператора модифікації. Якщо врахувати той факт, що часткова схема виживає у випадках, коли виживає кожна з $L(H)$ закріплених позицій схеми, то для малих величин $P(MO) \ll 1$ ймовірність виживання схеми при модифікації може бути представлена виразом [23]: $P_S(MO) = 1 - L(H)P(MO)$.

З урахуванням вищезазначеного і у відповідності до роботи [26] для часткової схеми можна визначити очікуване число копій в наступній генерації після реалізації операторів відтворення, рекомбінації і модифікації за формулою:

$$m(H, t+1) \geq m(H, t) \frac{\overline{f(H)}}{f(S)} \left[1 - \frac{P(PO)L(H)}{L-1} - L(H)P(MO) \right]. \quad (6.11)$$

Дана формула відображає фундаментальну теорему ГА, яка визначає асимптотичне число схем, що виживають при його реалізації на кожній ітерації. Найбільш істотний вплив на число виживання схем надають значення цільових функцій окремої схеми і всього набору рішень, а ефективність реалізації генетичних алгоритмів залежить від розміру будівельних блоків.

6.3 Програмні засоби реалізації генетичних алгоритмів на персональному комп'ютері

Реалізації методів в ГА залежить від програмного забезпечення на ПК. В даному випадку ефективне програмне забезпечення можна розділити на програмні засоби загального призначення, прикладні та алгоритмічні програмні продукти. Програмне забезпечення загального призначення включає різноманітні набори інструментальних засобів для побудови конкретних програм, які містять бібліотеки алгоритмів, програми моделювання, засоби візуалізації та інші інструменти. Пакети подібного типу розраховані на досвідчених програмувальників, вимагають знання основ теорії еволюційних обчислень і характеризуються високою трудомісткістю освоєння, яка в значній мірі залежить від кваліфікації користувача.

Прикладні програми є продуктами, що орієнтовані на вирішення проблем певного класу в конкретних предметних областях (реінжиніринг, маркетинг, стратегічне планування та ін.), не вимагають від користувача теоретичних знань в області методології створення ІС. Досить, щоб він був фахівцем у своїй предметній області.

Алгоритмічне програмне забезпечення підтримує один (або декілька) ГА. Перевагою таких програмних продуктів є їх гнучкість і простота використання. При цьому користувачам необхідно мати уявлення про основи теорії.

Найбільш поширені програмні засоби для технологій оптимізації із застосуванням ГА [13, 43], представлено в табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Програмні засоби, які реалізують методологію генетичних алгоритмів

Програмні продукти	Фірма	Коротка характеристика
1	2	3
Прикладні		
Evolver	Axcelis	Генетичний бізнес-інструмент, орієнтований на використання разом з електронними таблицями MS Excel
Omega	KiO and CAP Volmac	Прикладне програмне забезпечення для фінансових додатків
PC/Beagle	Pathway Research	Витяг вирішальних правил з бази даних
Xpert Rule Gen Asy	Attar Software	Оболонка експертної системи із вбудованим генетичним алгоритмом
Алгоритмічні		
EM	Technical University Berlin	Бібліотека з набором еволюційних алгоритмів
Escapade	University of Portmund	Програмне забезпечення підтримує еволюційні алгоритми
GAGA	University College London	Генетичні алгоритми, що призначені для мінімізації складних функцій виробничих витрат
Gauesd	US San Diego	Програмне забезпечення, що представляє більшість С-функцій в якості оціночних функцій
Genesis	The Software Partnership	Набір програм генетичних алгоритмів, написаних мовою С.
Genitor	Colorado State University	Пакет програм, які використовують алгоритм Whitley's Genitor
OOGA	The Software Partnership	Програмне забезпечення мовою LISP (методологія генетичного програмування)

1	2	3
Алгоритмічні програмні продукти загального призначення		
EnGENEer	Logica	Програми загального призначення мовою С
Game	University College London	Програмне оточення, що містить бібліотеку генетичних алгоритмів
GA Workbench	Cambridge Consultants	Освітня система з потужним графічним інтерфейсом
MicroGA	Emergent Behavior	Програмна підсистема генетичних алгоритмів, що написана мовою С++
Pegasus	German National Research Center	Набір інструментів, що написані в ANSI-C
Splicer	NASA Johnson&Metre Corp.	Універсальний програмний продукт: ядро+бібліотека+цільові моделі
Gene Hunter	Ward Systems Goup	Програмне оточення, що дозволяє писати програми в Visual Basic за допомогою спеціальних вбудованих функцій

Система Evolver містить шість методів генетичної оптимізації і представлена як розширення MS Excel. Основні області застосування пакета - оптимізація прибутковості з урахуванням рівня ризику, максимізація прибутку можливих витрат.

Система PC/Beagle являє собою програму пошуку вирішальних правил, що дають можливість класифікувати приклади з бази даних. При цьому дані перетворюються в знання за рахунок використання машинного навчання. Шляхом відтворення і селекції один з модулів породжує правила, у вигляді логічних виразів.

В якості інструменту тестування ГА використовується алгоритмічний програмний продукт Genesis. За допомогою нього можливо створити модифіковане програмне середовище, а також забезпечити користувача статистичною інформацією.

EnGENEer є програмний продукт загального призначення. Він містить можливість адаптування ГА до нових проблемних областей, використовуючи інструментарій:

- спеціальна мова, призначено для опису структурних понять генетики;
- еволюційна модельна мова, використовувана для відображення таких атрибутів, як розмір набору рішень, типи рекомбінацій і модифікацій;
- графічні інструменти моніторингу;

– бібліотека інструкцій.

Об'єктно-орієнтоване середовище Game містить п'ять основних частин: віртуальна машина; високорівнева генетична мова; бібліотека генетичних алгоритмів; графічний монітор; комп'ютер.

Система спроектована так, що допускає паралельне використання декількох алгоритмів. Для створення конкретного додатка використовуються бібліотечні модулі, з яких будується макропрограми за допомогою спеціальної високорівневої мови.

Відомий дистриб'ютор програмного забезпечення фірма "Тора-Інфо-Центр" поширює пакет Geneffunter, який може використовуватися як додаток MS Excel і допускає створення власних програм на мовах C і Visual Basic.

6.4 Методи генетичного та еволюційного програмування

Серед методів еволюційного програмування на увагу заслуговують генетичне і еволюційне програмування [27-29, 44]. Генетичне програмування – це спосіб створення комп'ютерних програм для завдань з невідомим алгоритмом рішення. Об'єктом еволюції є програма, а набір рішень містить безліч різних програм. Удосконалення об'єкта здійснюється на основі відбору відповідно до певної функцією цінності (fitness function). Програми будуються з блоків, які представляють собою елементарні функції і терміналі. В якості таких функцій зазвичай розглядаються арифметичні і логічні операції, математичні функції і функції спеціального виду, характерні для класу вирішуваних завдань. Множина елементарних терміналів містить різноманітні дані, які не створюються програмою. При цьому метою є побудова найкращої програми в просторі програм, які можуть бути складені з заданої сукупності функцій і терміналів із урахуванням певних синтаксичних правил.

Технологія генетичного програмування включає наступні етапи.

Етап 1. Формування множини елементарних терміналів, множини елементарних функцій, синтаксичних правил і критеріїв оцінки створюваних програм.

Етап 2. На основі закону випадковості створюється початковий набір комп'ютерних програм, орієнтованих на вирішення поставлених завдань.

Етап 3. Кожна програма виконується, а результати її роботи оцінюються за допомогою цільової функції (fitness function).

Етап 4. Формується новий набір програм, в який згенеровані програми можуть потрапити з ймовірністю, пропорційною значенню цільової функції.

Етап 5. Реалізуються генетичні оператори відтворення, рекомбінації і модифікації. В результаті відтворення здійснюється копіювання вже створених програм з належними значеннями цільової функції. Оператор рекомбінації створює нові програми шляхом комбінування фрагментів існуючих програм. Модифікація полягає в заміні деякого фрагмента програми випадково породженим символьним виразом.

Етап 6. Проводиться тестування програм – складових нового набору і приймається рішення про продовження процесу еволюції. Зазначимо, що генерацію нових рішень має сенс тоді, коли максимальні і середні значення цільової функції поліпшуються.

Розглянемо приклад [27, 46] проведення модифікації програми на мові LISP, де в якості терміналів використовуються змінні логічного типу D_i , $i = 0, 1$, а для їх обробки застосовуються логічні операції NOT, OR, AND. Нехай на деякому кроці наявна наступна множина допустимих виразів:

$$\begin{aligned}
 & NOT(D_1); \\
 & NOT(D_0); \\
 & AND(D_0, D_1); \\
 & OR(AND(D_0, D_1), NOT(D_1)); \\
 & AND(NOT(D_0), NOT(D_1)); \\
 & OR(D_1, NOT(D_0)); \\
 & OR(OR(D_1, NOT(D_0)), AND(NOT(D_0), NOT(D_1))).
 \end{aligned}
 \tag{6.12}$$

Ці вирази можна представити у вигляді дерев (рис. 6.5).

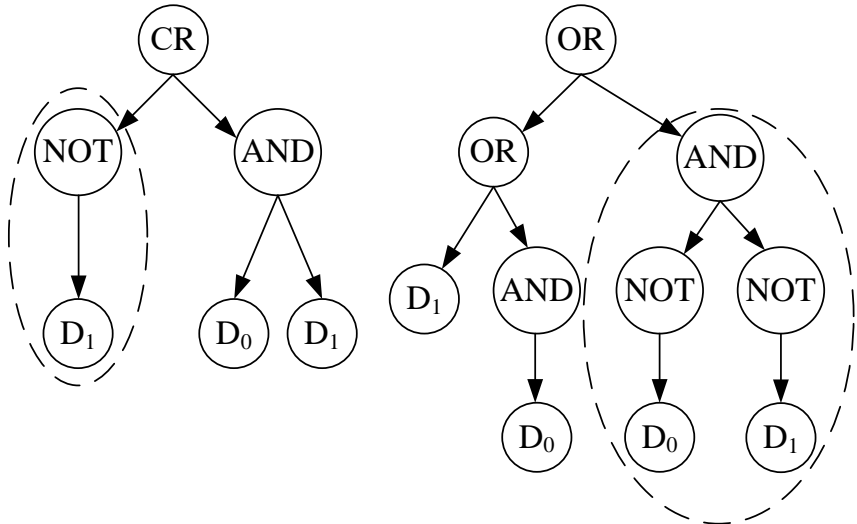


Рисунок 6.5 – Уявлення символічних виразів на мові LISP у вигляді дерев

В процесі еволюції на рівні піддерев здійснюється рекомбінація і створюють нові стани після перетворень (рис. 6.6).

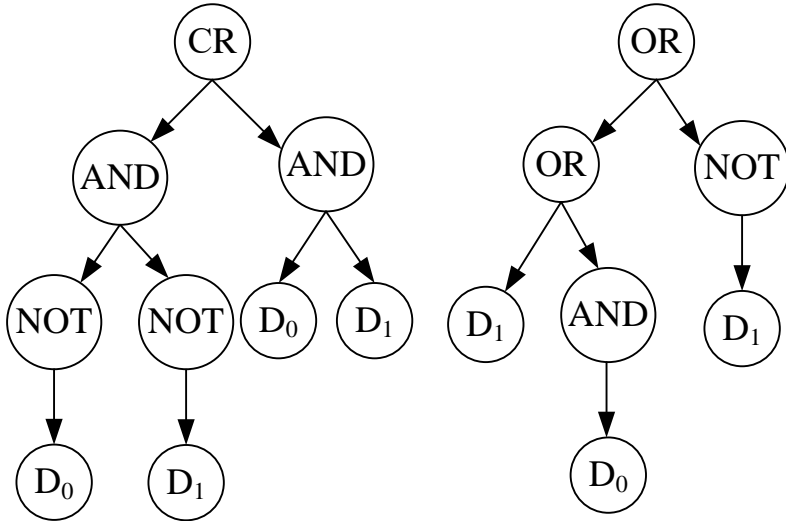


Рисунок 6.6 – Нові стани після рекомбінації базових станів

Перший з них являє собою реалізацію операції виключає АБО: $OR(AND(NOT(D_0), NOT(D_1))AND(D_0,D_1))$. Результатом застосування оператора модифікації є заміна частини дерева іншим виразом, що згенерував випадковим чином. Точка модифікації також вибирається випадково.

Розглянемо побудову економічної балансової моделі [13], в якій за мету передбачається уточнення економетричного рівняння обміну, що зв'язує рівень цін, валовий національний продукт (ВНП), запас грошей і швидкість обороту грошей в економіці. При цьому використовуються змінні: ВНП18 – рівень ВНП за 2018 р.; GD – дефлятор ВНП (вихідна змінна моделі), нормалізований до одиниці для 2018 р.; FM – щомісячна величина запасу грошей. Наведені змінні є функціями часу. Їх значення визначаються на основі статистичних даних у вигляді часових рядів. Крім того, використовується множина узагальнених констант дійсного типу R.

Для обробки змінних передбачені наступні операції: додавання (+); віднімання (-); множення (*); захищений розподіл (%), результатом якого є одиниця при спробі розділити на 0; захищене логарифмічне (RLOG), що дає 1 при нульовому значенні аргументу; обчислення експоненти (EXP). Груба оцінка придатності згенерованих рівнянь обчислюється як сума квадратів відхилень розрахункових значень від фактичних в заданих експериментальних точках:

$$R_h(t) = \sum_{j=1}^N (V_j^h - S_j)^2, \quad (6.13)$$

де S_j – фактичне значення вихідного параметра моделі; $j = 1, \dots, N$; N – число точок; V_j^h – розрахункове значення обчислюється показника; h – індекс згенерованої моделі.

Значення $R_h(t)$ масштабується з метою отримання нормованої оцінки придатності:

$$a_h(t) = \frac{1}{1 + R_h(t)}, \quad (6.14)$$

яка змінюється на інтервалі $[0,1]$ і дозволяє перейти до завдання максимізації. На основі $a_h(t)$ обчислюється відносна нормована оцінка придатності:

$$n_h(t) = a_h(t) / \sum_{m=1}^M a_m(t), \quad (6.15)$$

яка має більш високі значення для кращих наборів рішень і має властивість $\sum_{m=1}^M n_m(t) = 1$, що допускає ймовірнісну інтерпретацію.

Критерієм закінчення процесу еволюції є досягнення заданого числа генерацій (50) або досягнення найкращого значення цільової функції. Чисельність набору рішень була прийнята рівною 500. В процесі генерації нових циклів рекомбінації проводили на 90% чисельності набору, тобто з кожного циклу вибирали 225 пар початкових рішень з ймовірністю, яка дорівнює відносній оцінці їх придатності. Крім того, для кожного нового набору здійснювали відтворення 10% кращих представників циклів. Моделі, що генеруються зручно представити у вигляді деревоподібних структур (рис. 6.7).

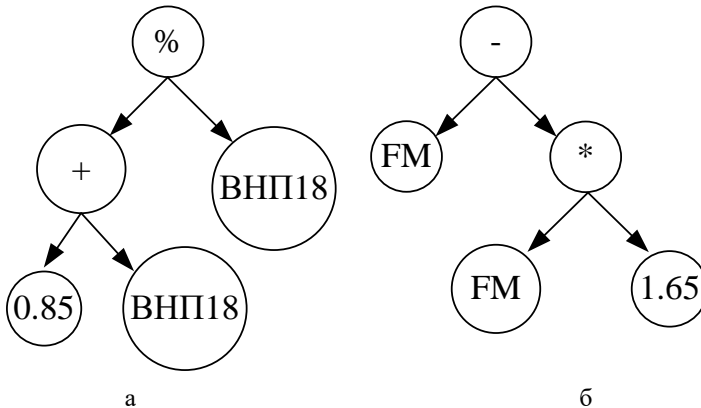


Рисунок 6.7 – Деревоподібне представлення комп'ютерних моделей, після рекомбінації: а) основа 1; б) основа 2

Представлені на рис. 6.7 моделі відповідають виразам:

$$V_i = (0.85 + \text{ВНП18})/\text{ВНП18} \quad \text{і} \quad V_j = 1.65\text{FM} - \text{FM}. \quad (6.16)$$

Операція рекомбінації починається з випадкового і незалежного вибору точки рекомбінації в кожній з двох початкових моделей.

Відсічені фрагменти початкових програм, позначені пунктиром, змінюються місцями, і в результаті утворюються дві послідовні моделі (рис. 6.8).

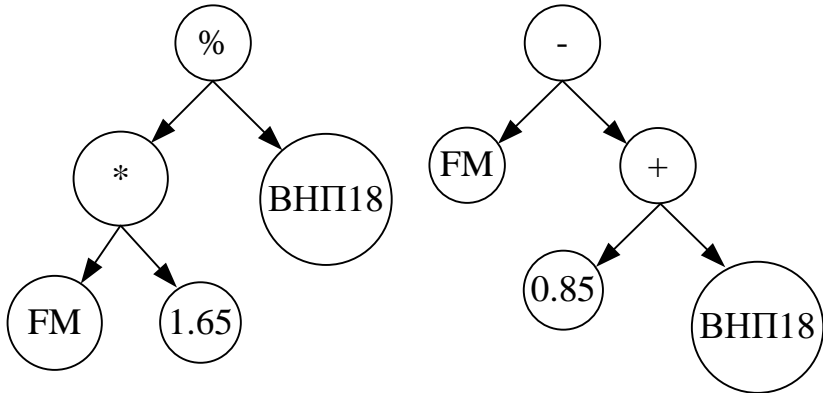


Рисунок 6.8 – Моделі-нащадки, отримані в результаті перетворень

Ці послідовні моделі відповідають рівнянням:

$$V_i = 1.65\text{FM}/\text{ВНП18} \quad \text{і} \quad V_j = 0.85 + \text{ВНП18} - \text{FM}. \quad (6.17)$$

Оператор модифікації в даному прикладі виконувався шляхом заміни функцій у вузлах дерев або шляхом випадкової зміни значень констант.

Л. Фогель, А. Оуенс і М. Уолш запропонували схему еволюції логічних автоматів, які вирішують завдання програмування, діагностики, розпізнавання і класифікації об'єктів, а також завдання управління об'єктом з невідомим характером [12]. Дослідження, ідейно дуже близькі до робіт Л. Фогеля з співробітниками, були різнобічно розвинуті і описані в роботах І.Л. Букатовой [2, 3]. У більш пізніх роботах Л. Фогеля [20, 21, 47] ЕП використовується для вирішення систем лінійних алгебраїчних рівнянь.

У зв'язку з цим, логічні (кінцеві) автомати - це моделі, які описують засобами формальної логіки можливі переходи досліджуваної системи з деякого початкового стану в заключний. Зручною формою подання кінцевих автоматів є орієнтовані графи (рис. 6.9).

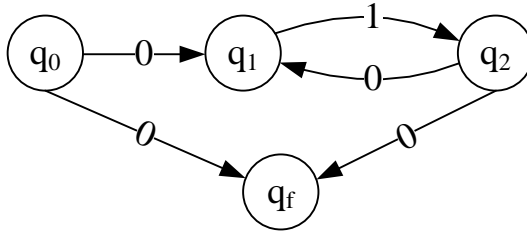


Рисунок 6.9 – Орієнтований граф, що відповідає кінцевому автомату (моделі): вершина q_0 – початковий стан, q_f – заключний стан, q_1, q_2 – проміжні стани; $\{0, 1\}$ – символічні значення

Кінцеві автомати використовуються в завданнях розпізнавання, управління і багатьох інших додатках. Знаменита машина Тьюринга є різновидом кінцевого автомата [22].

ЕП реалізує моделювання процесів еволюції моделей-автоматів, причому в кожен момент часу зберігається та модель-автомат, яка найкращим чином виконує це завдання. Базовий стан системи оцінюється в залежності від здатності приймати необхідну рішення на основі наявних даних. Цей стан піддається модифікації і приводить створення нового стану, якому ставиться те ж завдання і який оцінюється таким же чином. Автомат, який демонструє найкращу здатність виконувати необхідні функції, зберігається і поставляє "новий" стан в наступний цикл. Таким чином становляться все кращі і кращі моделі для вирішення поставленого завдання. Процес завершується, коли отримується досить хороша модель-автомат (програма) або вичерпані ресурси часу. Всякий раз в завданнях аналогічного типу, коли надходить нова інформація, відбувається еволюційний пошук логічної структури, що забезпечує отримання найбільш прийнятного рішення. В еволюційному програмуванні об'єктами еволюції є кінцеві автомати, здатні реагувати на стимули, що надходять із зовнішнього середовища. Кожен автомат на основі поточної інформації прогнозує стан, що відповідає певному значенню функції цінності. Рішення знаходять поступовим добором автоматів-основ, до яких застосовується модифікація на наступному кроці еволюції. В еволюційному програмуванні застосовуються такі методи реалізації оператора модифікації:

- зміна кінцевого стану;
- зміна умов переходу з одного стану в інший;
- додавання нового стану;
- видалення певного стану;
- зміна початкового стану.

Узагальнений алгоритм еволюційного програмування має наступні кроки:

1. Формулюється постановка завдання. Формуються вхідний глосарій, множина вхідних і вихідних станів, набір можливих станів, умови переходів зі

стану в стан, функція цінності для характеристики генерованих моделей-автоматів.

2. Випадковим чином генерується початковий набір кінцевих автоматів-основ.

3. Виконується тестування автоматів-основ шляхом вирішення поставленого завдання і оцінка отриманих результатів на основі обраної функції цінності.

4. Відсів неперспективних моделей-автоматів.

5. На основі випадкового застосування оператора модифікації до автоматів-основ виробляються послідовники нового набору.

6. Тестування моделей-нащадків шляхом вирішення поставленого завдання і оцінка отриманих результатів.

7. Відбір найбільш перспективних послідовників.

8. Перевірка умов закінчення процесу еволюції, в якості яких можуть бути: досягнення оптимального значення функції цінності і/або досягнення граничних значень, що обмежують тривалість процесу. Якщо умови завершення еволюції задоволені, то переходять на крок 9, в іншому випадку-повернення на крок 5, де об'єкти останнього згенерованого набору виступають в якості основи.

9. Кінець алгоритму.

Подальша еволюція автоматів можлива на основі пред'явлення автоматом більш складних завдань. Еволюційні стратегії запропоновані в роботах [31, 32, 54]. В якості стохастичного методу знаходження глобального мінімуму функцій багатьох змінних $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Еволюційні стратегії сутність яких полягає в наступному. З випадкових векторів рішення завдання багатокритеріальної оптимізації $x = \{x_{ij}\}$, $j = 1, \dots, \beta$, β – розмірність простору параметрів оптимізації, формується початковий набір об'єктів еволюції, над якими виконуються наступні дії:

1. З рішень x формують нові об'єкти – послідовники x'_i шляхом складання кожної компоненти $x_{ij} = x_{ij} + \xi_{ij}$ з випадковою змінною, що має нормальний закон розподілу з нульовим математичним очікуванням.

2. Обчислюють значення цільової функції $F(x_i)$ і $F(x'_i)$ і здійснюється вибір найкращого (мінімального) рішення, яке відбирається в новий набір.

3. Процес триває до тих пір, поки не буде досягнуто прийнятне рішення.

Кожен об'єкт в наборі характеризується двома векторами - вектором рішення і випадковим вектором, що модифікує це рішення. Випадковий вектор характеризується вектором дисперсії, який зберігається в процесі пошуку, і може бути доповнений коригуючим вектором, який пришиває збіжність алгоритму. Значення ξ_{ij} моделює величину кроку зміни параметрів, що обрані випадковим чином. У загальному випадку ξ_{ij} може приймати будь-

які значення, проте в схемі моделювання еволюційних механізмів величина ξ_{ij} відображає інтенсивність модифікації "основи" і тому не надто велика. Сукупність отриманих точок становить черговий цикл рішень, який оцінюються за значеннями функції, що мінімізується $F(X)$. В результаті відбору одні стани систем зникають, а інші з'являються. Цю просту схему легко вдосконалити, вводячи по аналогії з природними закономірностями залежність числа породжуваних послідовників від значень функцій цінності "основ".

Відповідні еволюційні стратегії пошуку оптимальних рішень відомі і широко використовуються на практиці. Набір рішень можна формувати наступними способами:

- μ основ породжують λ послідовників, всі рішення борються за виживання і кращі μ об'єктів відбираються в наступний набір;
- час життя стану системи обмежена одним циклом, тобто μ основ, зробивши λ послідовників, зникають;
- за місце у наступній набір змагаються тільки λ послідовників, причому в даному способі повинно виконуватися умова $\lambda > \mu$ (рекомендований співвідношення $\lambda / \mu = 7$).

Такий підхід можна застосувати до завдань із змінним оптимумом і з зашумленими даними.

У еволюційних стратегіях використовується оператор рекомбінації, який аналогічний рекомбінації в генетичних алгоритмах. В еволюційному програмуванні, на відміну від еволюційних стратегій, рекомбінація не застосовується. При цьому компоненти вектора "послідовників" створюються з компонент векторів рішень двох "основ". Це можна зробити різними способами:

- компоненти вектора послідовники вибирають випадковим чином з векторів батьків;
- компоненти вектора послідовники виходять як середнє арифметичне значення компонент обох основ, а потім до отриманого послідовника застосовується оператор перетворення.

У еволюційних стратегіях іноді застосовують глобальну рекомбінацію, при якій компоненти вектора кожного послідовника випадковим чином вибирають з векторів перетворення основ.

Слід зазначити, що моделювання природних процесів розвитку, в тому числі і еволюції, було і залишається одним з найбільш перспективних наукових напрямків. Крім представлених методів еволюційних обчислень, на основі природних аналогій запропоновані нейронні мережі, методи еволюційного синтезу систем і методи еволюційного проектування технічних об'єктів. Особливістю підходів, які базуються на еволюційних аналогіях, є контраст між досить простим математичним апаратом і вражаючими результатами в області вирішення слабоструктурованих і погано обумовлених проблем і завдань.

6.5 Приклади практичного застосування генетичних алгоритмів для створення і функціонування інтелектуальних транспортних і виробничих систем

Генетичні алгоритми знайшли широке практичне застосування в розвитку технічних, транспортних та виробничих системах, менеджменті та управлінні [13] для вирішення завдань пошуку оптимальних рішень, формування моделей і прогнозування значень різних показників. При цьому на основі заданої цільової функції здійснюється пошук кращих рішень. Значення цільової функції для багатьох завдань досить непросто обчислити, тому в ряді випадків при дослідженні недостатньо обґрунтованих завдань і проблем застосовуються нейронні мережі, що дозволяють знайти рішення за відсутності явної моделі. Крім того, для обчислення цільових функцій в умовах невизначеності застосовуються статистичні методи і методи логічного висновку на основі чітких або нечітких множин.

При створенні інтелектуальних систем здійснюють прогнозування правил і генетичні алгоритми можуть використовуватися для знаходження оптимального набору правил. Це дозволяє прогнозувати страхові ризики з урахуванням ряду визначальних його факторів [13, 53]. При цьому необхідно мати базу даних, що містить фактичні значення змінних, що впливають на страховий ризик.

Розглянемо використання генетичного алгоритму для оптимізації експертних правил в сфері страхування на транспорті. Припустимо, що компанія, що займається страхуванням автомобілів, використовує базу даних, до якої входять такі чинники: максимальна швидкість автомобіля (км/год), вік автомобіля (років), вік водія (років), а також ризик виплати компенсацій за страховими випадками.

Правила, які визначають оцінку страхового ризику, можливо сформулювати у вигляді: ЯКЩО максимальна швидкість автомобіля лежить в діапазоні $[A_1]$ І віковий діапазон автомобіля $[B_1]$ І вік водія знаходиться в діапазоні $[C1]$, ТО страховий ризик має значення $[D1]$.

Для вибірки з бази даних, зазначене можна сформулювати наступним чином: ЯКЩО максимальна швидкість автомобіля $[91...100$ км/год]. І вік автомобіля $[11...15$ років] І вік водія $[31...40$ років], ТО ризик $[3]$. При цьому високі значення відповідають великим страховим ризикам, а рівень ризику знаходяться на інтервалі $[1,5]$.

Правила базуються на фактичних значеннях змінних, які випадковим чином вибрані з БД і відповідно складають вихідний набір рішень. Для кожної із змінних, що входять в набір, попередньо задається діапазон станів. Наприклад, змінна "вік автомобіля", може мати п'ять можливих станів: $[1-5]$, $[6-10]$, $[11-15]$, $[16-20]$, $[21-25]$ років. Далі сформована сукупність обробляється генетичними операторами з урахуванням специфіки даної задачі. Цільова функція повинна показувати, наскільки точно згенеровані правила описують реальні страхові випадки, що зберігаються в БД.

Наприклад, якщо якийсь правило описує 4 випадки з 5, то значення цільової функції буде $4/5$, або 80%.

Нові набори рішень утворюються в результаті рекомбінації і модифікації початкового набору правил. В даному випадку при рекомбінації двох правил відбувається обмін парами "атрибут - значення" на ділянці рядка після точки рекомбінації. В результаті утворюються два нових правила, життєздатність яких оцінюється по тому, наскільки вдало вони описують страхові випадки, які мали місце в минулому. Модифікація правил забезпечує необхідну різноманітність ознак і полягає в зміні значень атрибутів із заданою ймовірністю. Таким чином, спочатку сформований набір правил перетворюється випадково спрямованим способом в інший набір, який краще за інших наборів описує накопичену статистику страхових випадків. Результуюча система правил надалі використовується для прогнозування страхових ризиків.

Слід зазначити, що подібний підхід до формування системи правил може призводити до некоректних правилами продукцій. У той же час він звільняє розробників і експертів від трудомісткої роботи по формулюванню і оцінці правил, оскільки некоректні результати відкидаються при зіставленні згенерованих продукцій з реальними страховими ситуаціями. Залучення минулого досвіду для оцінки придатності прогнозування правил не дозволяє передбачити нові ситуації, які не мали місця в минулому. Тому при вирішенні завдань зазначеним способом дуже важливо стежити за своєчасним поповненням і модифікацією інформації в БД, яка відображає появу нових фактів, атрибутів і тенденцій.

На основі ГА можливо розв'язати проблему, пов'язану з класифікацією систем. Дж. Холланд запропонував класифікують системи, які можна використовувати для цілей управління [11, 14, 17, 30, 48-50]. Класифікована система складається з трьох вкладених одна в одну підсистем (рис. 6.10): класифікатора, системи навчання і генетичного алгоритму.

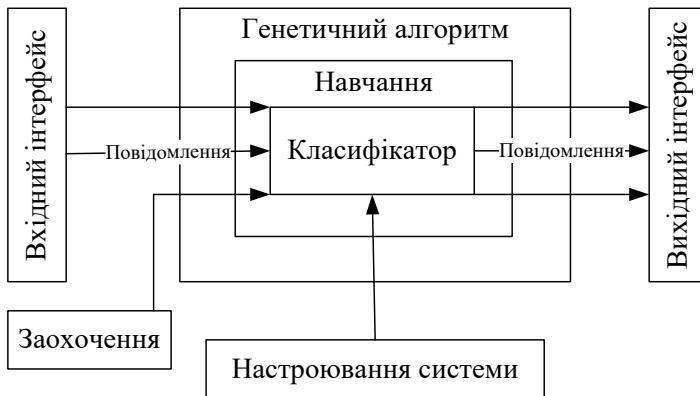


Рисунок 6.10 – Загальна схема класифікованої інтелектуальної системи

В класифікатор системи надходять зовнішні повідомлення і позитивні оцінки (заохочення) його дій. Класифікатор містить правила виду ЯКЩО <умова>, ТО <повідомлення>, за допомогою яких формуються вихідні повідомлення. Навчальна система виконує оцінку використовуваних правил. Генетичний алгоритм призначений для випадково спрямованої модифікації правил. Схема обробки правила представлена на рис. 6.11.

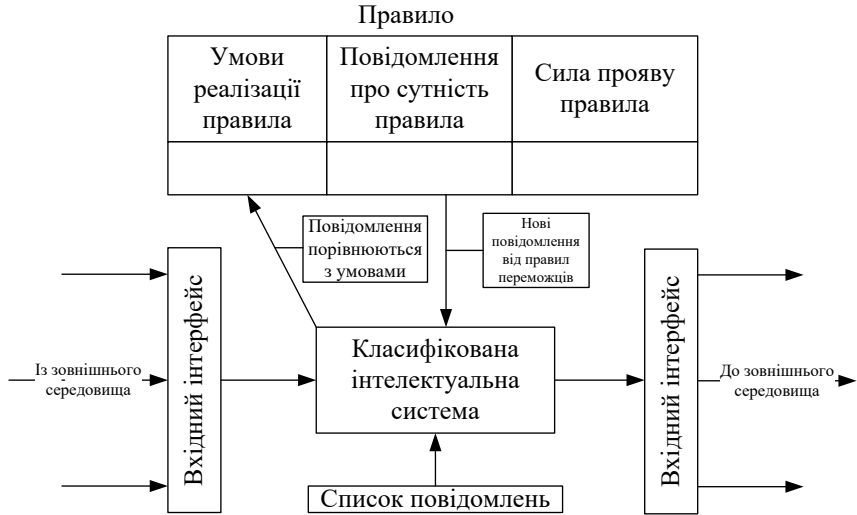


Рисунок 6.11 – Схема обробки правила в класифікованій інтелектуальній системі

Значимо, що кожному правилу приписується чисельна оцінка його сили. Повідомлення і умовні частини правил (антецеденти) формуються в одних і тих же термінах. Значимо, що всі поточні повідомлення, що йдуть із зовнішнього середовища, а ті, що формуються в самій інтелектуальній системі, містяться в списку повідомлень. В процесі роботи ІС повідомлення із цього списку порівнюються відповідно до правил. Класифікатор (рис. 6.11) виконує наступні дії:

Крок 1. У список повідомлень (робочу пам'ять) додаються всі повідомлення, що надійшли ззовні.

Крок 2. Проводиться порівняння всіх повідомлень зі списку з антецедентами всіх правил. Всі правила, антецеденти яких збігаються з присутніми в робочій пам'яті повідомленнями, записуються в список правил М.

Крок 3. Виконуються правила зі списку М, при цьому повідомлення кожного правила надсилаються в список нових повідомлень.

Крок 4. Оновлення списку повідомлень.

Крок 5. Повідомлення зі списку надсилаються в вихідний інтерфейс. Імовірність видачі повідомлення залежить від сили правила: не кожне повідомлення видається на керовану систему, частина їх може бути пов'язана зі зміною внутрішньої структури системи (правил).

Крок 6. Повернення до кроку 1.

В процесі навчання кожному правилу присвоюється числове значення, а алгоритм навчання регулює це значення з урахуванням корисності правила для системи. На кроці 3 кожного відібраного правила обчислюється цінність сили:

$$B(C,t) = bR_s(C,t), \quad (6.18)$$

де $s(C,t)$ – сила правила C в момент t ; $R(C)$ – специфічність умови в правилі, поділеної на довжину умови; b – коефіцієнт, який зазвичай приймають рівним $1/8$ або $1/6$. Ціна B визначає ймовірність того, що правило повідомлення включено в список нових повідомлень. Імовірнісний підхід дозволяє аутсайдерам теж зрідка посилати повідомлення, що при сприятливих умовах може зробити їх лідерами. Послати повідомлення можуть всі правила з допустимим значенням B , тобто такі, у яких B перевищує певне порогове значення. Правило, що надіслало повідомлення в новий список, зменшується своєю силою:

$$s(C,t+1) = s(C,t) - B(C,t). \quad (6.19)$$

Для правил C , що послали повідомлення, які на наступному кроці роботи виявилися корисними (збіглися з умовами правила-переможця, що має високу ціну), оцінка сили зростає на частку B : $s(C,t+1) = s(C,t) + aB(C,t)$, де $a = 1/K$, K – число правил C , тобто кожен постачальник інформації отримує рівну частку B .

Виявлено, що правило корисно тільки тоді, коли його споживачі в своїх локальних діях теж отримують вигоду. В іншому випадку правило знецінюється, оскільки його ціна s зменшується при надсиланні повідомлення. У свою чергу, корисність правил залежить від їх споживачів і т.д. Класифікатор і навчальна система не породжують нових правил. Цю функцію виконує генетичний алгоритм, який працює з урахуванням цінності сили правил, визначеної в системі навчання.

Зупинимось на комбінованих методах та інтелектуальних системах. В даний час активно розвиваються методи, засновані на об'єднанні аналогічних технологій і генетичних алгоритмів. Область ГА обумовлює розробки операторів, які орієнтовані на обробку інформації (знань). Генетичні алгоритми використовують в теорії нечітких множин для налаштування параметрів функцій приналежності. Інтеграція чітких і нечітких нейронних мереж і генетичних алгоритмів забезпечує реалізацію оптимізаційних завдань, що стоять перед інтелектуальними транспортними та виробничими системами. Засоби fuzzy-neuro-genetic використовуються в ІС і містять такі процедури:

– перетворення вхідних правил в нечітке уявлення;

- витяг знань, представлених у вигляді продукцій ЯКЦО-ТО з нечіткою навчальною вибіркою за допомогою нейронної мережі;
- оптимізація структури продукційних правил за допомогою генетичного алгоритму.

Насьогодні активно розвивається напрям, орієнтований на використання генетичних алгоритмів для навчання нейронних мереж [5,51,52] і коригування структури вже навченої мережі [18]. На відміну від методу зворотного поширення помилки генетичні алгоритми мало чутливі до архітектури мережі. Нагадаємо, що основними характеристиками нейронної мережі є такі:

- HLN – кількість прихованих шарів;
- N_k – число нейронів в кожному шарі;
- W_y – вагові коефіцієнти міжнейронних зв'язків;
- $F_j(X, W)$ – передавальні функції нейронів прихованих шарів, а також нейронів вихідного шару.

При цьому загальне завдання оптимізації мережі формується наступним чином: при заданих кількостях вхідних і вихідних нейронів на основі заданої множини навчальних прикладів визначити оптимальні значення HLN , N_k , $k=1, \dots, HLN$, значення всіх вагових коефіцієнтів міжнейронних зв'язків w_{ij} , де j – індекс нейрона; i – індекс міжнейронного зв'язку (синапсу), $F_j(X, W)$ – передавальні функції всіх нейронів за винятком нейронів вхідного шару. Критерієм оптимізації є максимальне відхилення вихідного вектора мережі Y' від еталонного значення виходу Y , отримане в результаті обробки всіх прикладів, тобто необхідно знайти:

$$\delta^* = \min_{HLN, N_k, W, F_j(X, W)} \max \delta_Q, \quad (6.20)$$

де $\delta = Y' - Y$; Q – множина навчальних прикладів, що містять значення X , Y ; $Y' = F(HLN, N_k, X, W)$; $F(HLN, N_k, X, W)$ – передавальна функція ІНС, яка будується на основі часткових функцій окремих нейронів $F_j(X, W)$. Навіть для простих мереж це завдання є дуже складним, тому для його вирішення застосовується декомпозиція, тобто мережа оптимізується в процесі послідовного вирішення часткових завдань оптимізації. Наприклад, в першу чергу підбираються оптимальні значення HLN і N_k , а потім визначають оптимальний вид передавальних функцій нейронів, а остаточно на кінцевій стадії визначають вагу міжнейронних зв'язків. Генетичні алгоритми найчастіше застосовуються для поліпшення характеристик ІНС, вже створених і навчених систем із застосуванням інших методів.

Висновки по розділу 6

1. Викладено сутність еволюційного моделювання в інтелектуальних системах та потреба в спеціальних комп'ютерних програмах. Що стосується поняття еволюції, то це зміни стадій створення та функціонування інтелектуальних систем. Визначено необхідні і достатні умови, головні

фактори еволюції, проведена їх конкретизація та враховано різноманіття форм прояву, взаємозв'язки і взаємовплив в системах.

2. Визначено основні напрямки розвитку еволюційного моделювання на сучасному етапі. Вони стосуються впровадженню генетичних алгоритмів, класифікацій систем на їх основі, розробки еволюційного проектування, оптимізації функцій станів систем та дискретних змінних, що їх описують.

3. З'ясовано, що в основу генетичних алгоритмів покладено аналоги методів генетики і хромосомної теорії еволюції організмів. Використовується те, що класична генетика обґрунтована спадковість і мінливість завдяки створенню фундаментальної теорії гена та основні її положення. При побудові генетичних алгоритмів важливим є вибір принципу генетичної рекомбінації. Визначено декілька типів перерозподілу спадкових факторів та типів рекомбінацій ділянок хромосом: кросингвер, ілегална рекомбінація. Способи негомологічного обміну можуть виявитися корисними при генерації нових рішень при створенні, функціонуванні та удосконаленні інтелектуальних систем. Найбільшого поширення набув кросингвер, мета якого полягає в створенні з наявного генетичного матеріалу бажаної комбінації ознак в одному рішенні.

4. Для вирішення різних прикладних завдань в інтелектуальних системах корисними є генетичні операції: мутація, транслокація, селекція, генна інженерія. В той час виділяють наступні види хромосомної мутації: делеція, дуплікація, інверсія, транслокація, транспозиція. Визначено, що механізм еволюції засновано на трьох повторюваних процесах: відбір, ампліфікація, мутація. Він використовується в якості механізму випадково спрямованого комбінаторного перебору при вирішенні завдань оптимізації і її слабоструктурованих проблем прийняття рішень.

5. Генетичні алгоритми побудовані так, що при генерації кожної множини рішень використовуються фрагменти їх вихідних варіантів, до яких додаються нові елементи, що забезпечують поліпшення рішень щодо сформульованого критерію відбору. Генетичні алгоритми використовують інформацію, накопичену системою в процесі еволюції її функціонування. На практиці для їх реалізації в системах різної природи доцільним є трактування специфічних термінів генетики і хромосомної теорії та врахування основних відмінностей генетичних алгоритмів від інших алгоритмів оптимізації.

6. Дано характеристику програмним засобам реалізації генетичних алгоритмів на ПК, які розділені на програмні засоби загального призначення, прикладні та алгоритмічні програмні продукти. Визначені такі популярні програмні засоби, що реалізує технології оптимізації із застосуванням генетичних алгоритмів: Evolver; Omega; PC/Beagle; Xpert Rule Gen Asy; EM; Escarade; GAGA та ін. Показано, серед методів еволюційного програмування на увагу заслуговують генетичне і еволюційне програмування. Розглянуто технології генетичного програмування із сукупністю заданих елементів функцій, терміналів, синтаксичних правил і критеріїв оцінки.

7. Розглянуто приклад проведення модифікації програми на мові LISP, де в якості терміналів використано змінні логістичного типу, а для їх

обробки – логістичні операції NOT, OR, AND. Уявлення символічних виразів здійснення у вигляді дерев із здійсненням рекомбінацій і модифікацій. З'ясовано, що ідеї генетичного програмування можуть бути покладено в основу програм-симуляторів "штучного життя" інтелектуальних систем. Розглянуто приклад побудови економічної балансової моделі валового раціонального продукту та моделі еволюції логічних автоматів. Наведено узагальнений алгоритм еволюційного програмування, відповідні еволюційні стратегії пошуку оптимальних рішень.

8. Показано як при створенні інтелектуальних систем здійснюється прогнозування правил і генетичних алгоритмів, які можуть бути використані для знаходження оптимального набору правил. Розглянуто прогнозування страхових ризиків, при цьому з урахуванням ряду визначених факторів. На прикладі страхування на транспорті використано метод генетичного алгоритму, для оптимізації експертних правил в цій сфері. На основі генетичних алгоритмів розглянуто класифіковані системи, які можливо використати для цілей управління і які складаються з наступних підсистем: класифікатора, системи навчання і генетичного алгоритму. Зазначено, що генетичні алгоритми найчастіше застосовується для поліпшення характеристик вже створених і навчальних інтелектуальних систем.

РОЗДІЛ 7. ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МУЛЬТИАГЕНТНОГО МЕТОДУ ПРИ СТВОРЕННІ ТА ФУНКЦІОНУВАННІ ТРАНСПОРТНИХ ТА ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

7.1 Сутність і зміст методу інтелектуальних агентів

В інтелектуальних системах і технологіях використовується інтелектуальний мультиагентний метод. Він є одним з нових перспективних напрямів штучного інтелекту. Напрямок сформувався на основі результатів досліджень розподілених комп'ютерних систем, мережових технологій вирішення проблем, а також паралельних обчислень. Створення і функціонування інтелектуальних мультиагентних систем базується на теорії агентів. В ній закладено принцип автономності агентів, спільно функціонуючих в розподіленій системі. З одночасним протіканням сукупності взаємопов'язаних процесів. Під агентами розуміють автономні штучні об'єкти, що володіють активним мотивованим поведінням і здатні до взаємодії з іншими об'єктами в динамічних віртуальних середовищах. Кожен агент володіє рядом функцій: приймати повідомлення; інтерпретувати їх зміст; формувати нові повідомлення; передавати на "дошку оголошень"; направляти їх іншим агентам.

Агентно-орієнтований підхід знайшов наступні застосування: розподілене рішення складних завдань; реінжиніринг підприємств; електронний бізнес; технології моделювання. Д.А. Поспелов [9] в мультиагентних технологіях моделювання виділяє два класи завдань. До першого класу відносить завдання розподіленого управління і планування досягнення цілей. При цьому зусилля різних агентів спрямовані на вирішення загальної проблеми, а тому необхідне забезпечення ефективного способу кооперації їх діяльності. У завданнях другого класу агенти самостійно вирішують свої локальні завдання, використовуючи загальні і, як правило, обмежені ресурси.

За сутністю поняття агент передусім відповідає апарату або програмній реалізації сутності, яка здатна діяти в інтересах досягнення цілей, поставлених власником або користувачем [3, 12, 23, 25]. При цьому мультиагентні системи (МАС) мають безліч автономних агентів, що діють в інтересах різних користувачів і взаємодіють між собою в процесі вирішення певних завдань. Прикладами таких завдань є: управління матеріальними, фінансовими, інформаційними та сервісними потоками і мережами, пошук інформації в мережі Інтернет, електронна комерція, навчання, електронні бібліотеки, колективне прийняття багатокритеріальних управлінських рішень та ін.

Ідея МАС належить науковій школі М.Л. Цетлін, яка займалася колективною поведінкою автоматів [14]. В якості агентів розглядають штучні об'єкти, що володіють властивістю реактивності, тобто здатні сприймати і інтерпретувати сигнали, що надходять із зовнішнього середовища, і формувати варіанти сигналів. Невеликими об'єктами можуть бути кінцеві

автомати, які не мали апріорних знань про властивості навколишнього середовища і про наявність в ній інших істот. Єдиним знанням була мета їх діяльності і здатність оцінювати сигнали, що надходять. Характерним для кінцевих автоматів є хороша здатність до адаптації в стаціонарних імовірнісних середовищах. Головною характеристикою агентів-автоматів є раціональність. Вона визначається сукупністю позитивних відгуків середовища, накопичених агентом за визначений період існування. У подальших дослідженнях структура малих об'єктів ускладнювалася. Першими з'явилися ймовірнісні автомати зі змінною структурою, які адаптувались до характеристик зовнішнього середовища. З'явилися агенти, здатні змінювати свої реакції на основі даних передісторії та аналізу стану середовища. Найвищим кроком розвитку мультиагентних технологій є здатність агентів до міркувань [7, 12, 27]. Найпростіші моделі взаємодій передбачали спілкування їх через середовище. При цьому на кожному кроці функціонування агенти здійснюють вибір можливих для них дій. Множинність дій агентів обумовлює розподіл відгуків зовнішнього середовища для всіх учасників, які можуть його використовувати або не використовувати при формуванні своїх відповідних реакцій.

За сучасним трактуванням агенти мають властивість переходу до колективної роботи в розподілених комп'ютерних системах. Це є початком інтенсивного розвитку мультиагентних технологій. Даний напрям характеризується наступним: різноманітність моделей агентів і способів їх реалізації; вирішеність практичних завдань та створеність інструментальних засобів для розробки мультиагентних систем; сформульовані принципи взаємодії агентів [26].

За сукупністю провідних ознак класифікація агентів представлена в табл. 7.1.

З таблиці випливає, що для інтелектуальних агентів характерною є цілеспрямована поведінка. Вона передбачає наявність у агента цілей функціонування і здатностей використовувати знання про навколишнє середовище, партнерах, а також про свої можливості.

Інтелектуальним агентам характерні наступні властивості: автономність, активність, комунікабельність, цілеспрямованість, переконаність, реактивність, наявність базових знань, наявність намірів та зобов'язань, а також правдивість, мобільність.

При цьому під автономністю розуміють здатність функціонування без втручання з боку свого власника і здійснення контролю власних дій і внутрішнього стану й передбачення відносної їх незалежності від навколишнього середовища, тобто наявність "свободи волі", що обумовлює власну поведінку, забезпечену необхідними ресурсами. Активність обумовлює здатність інтелектуальних агентів до організації і реалізації дій. Комунікабельність передбачає взаємодію і комунікацію з іншими агентами. Під реактивністю розуміють адекватне сприйняття стану середовища та реакцію на його зміну. Цілеспрямованість інтелектуального агента передбачає наявність власних джерел мотивації. Такі агенти мають базові знання про

себе, про інших агентів і про навколишнє середовище. В якості переконання розуміють – змінну частину базових знань, що мінливі а в часі, а бажання агента розглядається як прагнення до певних станів. Що стосується намірів, то це є дії, які плануються агентом для виконання своїх зобов'язань та бажань. Під зобов'язаннями будемо розуміти завдання, які виконують агенти на прохання або за дорученням інших. Крім зазначеного слід додати: правдивість, як нездатність до підміни справжньої інформації агентом завідомо неправдивої інформації; доброзичливість як готовність його до співпраці з іншими агентами в процесі вирішення власних завдань, в умовах відсутності конфліктуючих цілей, перед агентами. Володіння такої властивості як альтруїзм передбачає пріоритетність загальних цілей у порівнянні з особистими, а мобільності – здатності мігрування по мережі в пошуках необхідної інформації.

Таблиця 7.1 – Класифікація агентів в інтелектуальних системах

Провідна ознака	Тип агента			
	Простий	Тямущий	Інтелектуальний	Дійсно інтелектуальний
Автономність	+		+	+
Взаємозв'язок з іншими агентами і/або користувачами	+	+	+	+
Реактивність	+	+	+	+
Здатність до використання абстракцій		+	+	+
Адаптивна поведінка		+	+	+
Навчання на основі взаємозв'язків із зовнішнім середовищем			+	+
Толерантність до помилок і/або невірних вхідних сигналів			+	
Функціонування у режимі реального часу			+	
Взаємодія на природній мові			+	

Агентні програми класифікуються за двома основними ознаками: ступінь розвитку внутрішнього уявлення про навколишній світ та спосіб поведінки. За першою ознакою виділяються інтелектуальні (когнітивні, міркуючі) та реактивні агенти. Інтелектуальні агенти володіють добре розвинутою і поповнюючою символічною моделлю зовнішнього світу завдяки наявності у них бази знань, механізмів міркування і аналізу дій. Що стосується реактивних агентів, то вони не мають уявлення про зовнішнє середовище і можуть не використовувати міркувань, то не можуть не мати власних ресурсів. Їх поведінка визначається метою, формування реакції на запропоновані ситуації. Крім того реактивні агенти не мають внутрішніх джерел та не мають здатності планувати свої дії. В чистому вигляді реактивність – це відображення зворотного зв'язку без прогнозу.

Інтелектуальна мультиагентна система – це множина інтелектуальних агентів, розподілених в мережі та мігруючих по ній в пошуках релевантних даних, інформації (знань), процедур та їх кооперація для досягнення поставлених цілей.

На різноманітність варіантів архітектури MAC впливають прийняті концепції:

- засновані на методах роботи зі знаннями;
- в яких використовуються поведінкові моделі "стимул-реакція";
- гібридні архітектури та інші.

В архітектурі першого типу для подання та обробки знань використовуються традиційні моделі, методи і засоби штучного інтелекту, а прийняття рішень здійснюється на основі механізмів формальних міркувань. Ранні системи такого типу для подання та обробки знань була використана логіка предикатів першого порядку. Дослідження в цій області привело до появи спеціальних розширень логічних обчислень, що орієнтовані на врахування таких властивостей агентів, як переконання, бажання, наміри та зобов'язання [9, 12, 28]. Перший тип архітектур мають істотний недолік, який полягає у складності або принциповій неможливості побудови досить повних баз знань, які є необхідною частиною створюваних інтелектуальних транспортних і виробничих систем. Типові транспортні або виробничі системи здатні сприймати інформацію із зовнішнього середовища і здійснювати ті чи інші дії в результаті обробки цієї інформації. Інтелектуальний агент може мати таку архітектуру. Головні відмінності агентної системи від звичайної продукційної системи пов'язані з наявністю механізму формування цілей і модуля комунікації, який забезпечує взаємодію з іншими агентами. Агент з такої архітектури має здатність до міркувань, але не здатний до навчання. Адаптивна поведінка агента дозволяє реалізувати архітектуру на основі класифікуючих систем Дж. Холланда. Найважливішими відмінностями класифікованих систем від продукційних є: можливість формування нових правил із застосуванням генетичного алгоритму та наявність механізму заохочень.

Символьні моделі подання в архітектурі другого типу не використовуються. Вони традиційні для ШІ знань [16]. В реактивних

системах моделі поведінки агентів представлені або наборами правил, які дозволяють вибрати дію, відповідно до ситуації, або кінцевими автоматами, що забезпечують формування адекватних реакцій агента на стимули виникаючі в системі. Системи цього типу, як правило, мають високу ступінь спеціалізації і суворі обмеження на складність вирішуваних завдань.

Найбільш перспективними вважаються гібридні інтелектуальні МАС, які дозволяють використовувати можливості інтелектуальних і реактивних архітектур. Прикладом таких систем можуть служити з архітектурою, що має ієрархічну БЗ, при цьому повинна бути структурованою, містити робочу пам'ять, модуль управління комунікацією і людино-машинний інтерфейс. Агент з подібною архітектурою має здатність до міркувань і до реактивного поведінки. Його БЗ містить три рівні:

- знання предметної області;
- знання про взаємодію, які дозволяють приймати рішення в умовах невизначеності;
- керуючі знання.

Інтелектуальна поведінка агента полягає у його здатності приймати рішення. Реактивна поведінка передбачає систему контролю за вмістом робочої пам'яті. Агент взаємодіє з користувачем, використовуючи людино-машинний інтерфейс. У зв'язку з цим гібридні архітектури в загальному випадку є багаторівневими і відрізняються структурою та змістом рівнів. Це можуть бути різні рівні управління, абстракції або окремі функціональні властивості агента.

Одне з нових прогресивних напрямків реалізації МАС є застосування нейронних мереж. Коннекціоністські архітектури, що побудовані на основі штучних навчаючих систем, дозволяють створювати самонавчаючих агентів, знання яких формуються в процесі вирішення практичних завдань. Хороші перспективи спостерігаються для реалізації самонавчаючих агентів, що мають мережі зі зворотними зв'язками, а також нечіткі штучні навчаючі системи [12].

7.2 Колективність поведінки агентів в інтелектуальних системах

Головною рисою МАС, що відрізняє їх від інших ІС, є взаємодія між агентами. Взаємодія означає встановлення двосторонніх і багатосторонніх динамічних відносин. Вона є не тільки наслідком діяльності агентів, але і необхідною умовою формування віртуальних спільнот. Взаємодія являє собою зв'язок між існуючими агентами та є передумовою для взаємних перетворень самих агентів і відносин між ними. Головними характеристиками будь-якої взаємодії агентів є: спрямованість, вибірковість, інтенсивність, динамічність. Ці характеристики можна інтерпретувати в такий спосіб: спрямованість ↔ вибірковість ↔ інтенсивність ↔ динамічність. Розрізняють спрямованість: позитивну і негативну, коопераційну і конкуренційну, яка обумовлює співробітництво або конфронтацію, координацію, або субординацію і т.п. При цьому під вибірковістю розуміють взаємодію, що відбувається між агентами, які відповідають один одному і поставленому

завданню. Агенти можуть бути пов'язані в одних відносинах і незалежними – в інших. Що стосується інтенсивності, то взаємодія між агентами не зводиться до наявності або відсутності, а характеризується певною силою. Динамічність означає, що наявність сили і спрямованість взаємодії можуть змінюватися з плином часу.

Виявлено, що аналіз взаємодії між агентами обумовлює розв'язання наступних завдань [12]:

- ідентифікація ситуацій взаємодії агентів;
- виділення основних ролей та їх розподіл між агентами;
- визначення числа і типів взаємодіючих агентів;
- побудова формальної моделі взаємодії;
- визначення набору можливих стратегій поведінки агентів;
- формування сукупності комунікативних дій.

Відомо, що базовими видами взаємодії між агентами є наступні:

- кооперація (співробітництво);
- конкуренція (конфронтація, конфлікт);
- компроміс (врахування інтересів інших агентів);
- конформізм (відмова від своїх інтересів на користь інших);
- ухилення від взаємодії.

Переслідуючи певні цілі інтелектуальні агенти співпрацюють з іншими агентами. В даній ситуації кооперація в співтоваристві реактивних агентів є ненавмисною, оскільки базується на природних реакціях окремих агентів, спрямованих на виживання виду. Показником виживання агентів або їх груп є здатність зберігати свою цілісність при різних впливах факторів. Що стосується кооперації між агентами, то вона може виникати на примусових засадах (директивна кооперація) або на основі добровільних взаємовідносин (ситуативна кооперація). Зазначені види співпраці можуть бути представлені контрактною формою кооперації. При цьому взаємодія агентів закріплюється набором формальних або неформальних угод між ними.

Взаємодія агентів обумовлено цілим рядом причин, найважливішими серед яких є: сумісність цілей (загальна мета) і ставлення до ресурсів; необхідність залучення недостатнього досвіду; взаємні зобов'язання.

Сумісність цілей і формулювання загальної мети зазвичай породжує взаємодія по типу кооперації або співпраці. При цьому слід з'ясувати, чи не приводить взаємодія до зниження життєздатності окремих агентів. Несумісність цілей або переконань зазвичай породжує конфлікти, позитивна роль яких полягає в стимулюванні процесів розвитку. Прикладом одночасної взаємодії за двома типами "кооперація-конфронтація" є відома модель "хижак-жертва" [13].

Оскільки для досягнення агентами своїх цілей є використання ресурсів, то завдання розподілу часток ринку, витрат і прибутків спільних підприємств можна розглядати як приклади взаємодії, обумовленого загальними ресурсами. Обмеженість ресурсів, які використовуються агентами, породжує конфлікти. Вирішення конфліктів є передусім право сильного - сильний агент відбирає ресурси у слабких. Більш тонкими способами вирішення конфліктів

є переговори [13, 29], спрямовані на досягнення компромісів, врахуванням інтересів всіх агентів.

Зазначимо, що інтелектуальний агент має обмежений набір знань (інформації), який необхідний для реалізації власних і спільних цілей. Це обумовлює взаємодію з іншими агентами. При цьому можливі різні ситуації:

- агент здатний виконати завдання самостійно;
- агент може обійтися без сторонньої допомоги, але кооперація дозволить вирішити завдання більш ефективним способом;
- агент не здатний вчасно вирішити завдання.

Залежно від ситуації, що склалася, агенти вибирають тип взаємодії і можуть проявляти різний ступінь зацікавленості в співробітництві. Укладені між ними зобов'язання є одним з інструментів, що дозволяють упорядкувати взаємодії агентів. В таких умовах слід передбачити поведінку інших агентів, прогнозувати розвиток інтелектуальних транспортних або виробничих систем, планувати власні дії. В зв'язку з цим можливе виділення наступних зобов'язань: перед іншими агентами; окремо взятого агента перед групою агентів; групи агентів перед кожним агентом; індивідуального агента перед самим собою.

Основа ментальної моделі інтелектуального агента базується на формальному уявленні цілей, зобов'язань, бажань і намірів та інших характеристик. Це забезпечить мотивовану поведінку агента в автономному режимі. В різному поєднанні агентів можлива реалізація різних форм співробітництва між ними: просте, координоване, непродуктивне. Просте співробітництво передбачає інтеграцію досвіду окремих агентів (розподіл завдань, обмін знаннями і т.п.) без спеціальних заходів по координації їх дій. При координованому співробітництві агенти змушені узгоджувати свої дії, з можливим залученням спеціального агента-координатора, для того щоб ефективно використовувати ресурси і власний досвід. Непродуктивне співробітництво обумовлює агентів спільно використовувати ресурси або вирішувати загальні проблеми, не обмінюючись досвідом і заважаючи один одному.

При створенні методів моделювання взаємодії агентів між собою і зовнішнім середовищем, Д.А. Поспелов [2] зосередив увагу на основних ознаках природних систем, які на його думку необхідно враховувати при моделюванні віртуальних середовищ:

- скінченність часу існування будь-якого агента, залежить передусім від поставленого перед ним завдання, від величини доступних ресурсів і т.п.;
- використання механізму біологічного відбору в методах моделювання штучного інтелекту, оскільки природний відбір ефективних агентів здійснюється в адаптивних системах з використанням еволюційних механізмів: навчання в нейронних мережах, генетичних алгоритмів; автоматів з перебудованою структурою і т.д.;
- врахування рівня організації спільноти агентів, які крім реактивності, активності і когнитивності (здатності до міркувань) мають властивість соціальності.

Звісно в такого типу моделей виникає необхідність врахування соціального статусу і соціальних відносин. Розподіл праці в суспільстві є основою для виділення класів агентів, що виконують спеціалізовані функції, в тому числі функції управління штучним середовищем. Завдання розподілу спеціальних функцій призводить до необхідності реалізації механізму соціального відбору.

Щоб розробити принципи організації спільноти штучних систем за образом і подібністю до людського суспільства, слід поєднати теорію МАС з системним аналізом, теорією організацій, теорією адміністративного управління. Разом з тим звертає на увагу не вирішена проблема морально-етичних основ організації мультиагентних систем. Ця проблема пов'язана з врахуванням основних цінностей і норм, прийнятних в суспільстві. Зазначимо, що питання моделювання нормативної поведінки агентів викликає дискусію, оскільки поряд з нормативною в реальному суспільстві поведінкою має місце і ненормативна поведінка [9].

Колективна поведінка агентів в МАС передбачає їх кооперацію при колективній підготовці вирішенні завдань. Якщо МАС активно функціонує, то її агент може звертатися за допомогою до інших агентам, якщо не в змозі самостійно вирішити поставлене перед ним завдання. Агенти можуть будувати плани спільних дій, не тільки покладаючись на свої можливості, але аналізуючи плани і наміри інших членів сукупності агентів МАС. Моделювання їх колективної поведінки необхідно також у випадках, коли агентами вирішується свої завдання. З використанням загальних обмежених ресурсів. В цій ситуації кожен агент змушений враховувати наявність інших агентів, а вибір стратегії дій одного агента зазвичай залежить від поведінки інших.

Теорії систем, управління і ігор розглядають проблеми колективної поведінки. В системному аналізі застосовують декомпозиції вихідних завдань з вирішення знаходять рішення завдання в цілому. У МАС простих завдань метод декомпозиції впроваджено в принцип розподіленого рішення підзавдань з їх координацією для отримання стратегії колективної поведінки агентів.

При моделюванні колективної роботи агентів виникає ціла сукупність проблем [4, 30]:

- розпізнавання необхідності кооперації-агентів;
- вибір відповідних партнерів-агентів;
- можливість врахування інтересів партнерів-агентів;
- організація переговорів про спільні дії агентів;
- формування планів спільних дій;
- синхронізація спільних дій;
- декомпозиція завдань і розподіл обов'язків між агентами;
- виявлення конфліктуючих цілей;
- конкуренція за спільні ресурси;
- формування правил поведінки в колективі агентів;
- навчання поведінці в колективі і т.д.

Колективна поведінка агентів характеризується наступною особливістю: їх взаємодія в процесі вирішення завдань або загальної проблеми породжує нову якість їх вирішення. В моделях координації поведінки агентів використовується наступне [4]:

- відмова від пошуку найкращого рішення на користь "хорошого", що призводить до переходу від процедури суворої оптимізації до пошуку прийняттого компромісу, що реалізує той чи інший принцип координації;

- використання самоорганізації як стійкого механізму формування колективної поведінки агентів;

- застосування рандомізації тобто випадково-імовірнісного способу вибору рішень в механізмах координації для вирішення конфліктів в колективній поведінці агентів;

- реалізація рефлексивного управління [6, 31], щоб змусити суб'єкта (агента) усвідомлено сформулювати такі бажання і наміри (інтенції), які збігаються з вимогами зовнішнього середовища.

Найбільше використовуються на практиці наступні моделі координації поведінки агентів: теоретико-ігрові; колективної поведінки автоматів; планування колективної поведінки; на основі BDI (Belief Desire Intention) – архітектур; координації поведінки згідно ступеня конкуренції. Теоретико-ігрові моделі дають можливість вибрати рішення в умовах невизначеності і конфлікту. Зазначимо, що наявність конфлікту передбачає існування як мінімум двох учасників – гравців. Множина рішень, які підлягають вибору є стратегією. Рівноважні точки гри (оптимальні рішення) являють собою стани, коли жодному з гравців не вигідно змінювати свою позицію. Поняття рівноваги системи є також корисним в теорії MAC, через те, що механізм пошуку рівноважних ситуацій може використовуватися як засіб самоорганізації колективної поведінки агентів. Це обумовлює необхідні атрибути колективної поведінки агентів, згідно правилам гри. На основі розвитку теорії ігор в MAC будуються ефективні, стійкі, повністю розподілені протоколи переговорів, що спрямовані на координацію колективної поведінки агентів системи.

Як відображено в роботі [24], можливі ситуації вибору поведінки агентів класифікується наступним чином: симетрична кооперація; симетричний компроміс; несиметрична кооперація або несиметричний компроміс; конфлікт. Якщо множина стратегій непорожня, то при її використанні обидва агенти досягають своїх цілей і отримують більший ефект, ніж в ситуаціях, коли вони діють поодиночці. При цьому спостерігається симетрична кооперація. У випадку досягнення мети поодиночці з вигодою для кожного агента, то така ситуація є симетричним компромісом.

Якщо ж один з агентів може самостійно досягти своєї мети в присутності іншого агента, а інший – тільки за рахунок кооперації з першим, то ситуація є несиметричною кооперацією або несиметричним компромісом. У випадку коли переговорна множина порожня, тобто не існує стратегій, що забезпечують досягнення цілей обох агентів при вирішенні проблеми, то ситуація конфліктна.

Колективна поведінка автоматів базується на рандомізації, самоорганізації і повної розподіленості [1, 14, 32]. Вони підходять для побудови протоколів переговорів в завданнях, які характеризуються великою кількістю найпростіших взаємодій агентів, які мають невідомі характеристики.

Оскільки планування може бути централізованим, частково централізованим або розподіленим (децентралізованим), то в останньому випадку агенти самі приймають рішення про вибір своїх дій в процесі координації планів. В зв'язку з чим виникають питання раціональної децентралізації, можливості зміни цілей при виникненні конфліктів, а також проблеми обчислювальної складності, використовуючи моделі планування колективної поведінки.

В моделях, які використовують BDS-архітектуру [12, 17, 33] застосовуються аксіоматичні методи теорії ігор і логічної парадигми ШІ. Щоб описати поведінку агентів використовують темпоральну та модальну логіку. При цьому акцент здійснюється на описі таких властивостей агентів, як переконання (belief), бажання (desire) і наміри (intention). Завдання координації поведінки агентів вирішується шляхом узгодження результатів логічного висновку в базах знань окремих агентів. Останнє отримано для поточного стану зовнішнього середовища, в якому вони діють. Логічний висновок здійснюється безпосередньо в процесі функціонування агентів. Це призводить до високої складності моделей, обчислювальних труднощів і до проблем, пов'язаних з аксіоматичним описом нетривіальних ситуацій. В таких випадках перед агентом постає вибір між рішенням власного завдання і виконанням зобов'язань по відношенню до партнерів-агентів.

7.3 Приклади створення та функціонування мультиагентних систем

При розгляді взаємодії агентів в МАС можливо використання різних механізмів координації їх поведінки. Це легко продемонструвати на прикладі електронних магазинів та віртуальних підприємств.

Електронний магазин відповідає типовим завданням електронної комерції [4]. Учасниками такого магазину є агенти-продавці і агенти-покупці. Схема електронного магазину наведена на рис. 7.1.

Торгівля в електронному магазині, здійснюється за програмою, розміщеною на сервері. В основі покладено організацію взаємодії агентів, інтереси яких збігаються. Агенти діють за дорученням своїх персональних користувачів. При цьому агенти-продавці прагнуть продати свій товар за максимально можливою ціною, а агенти-покупці прагнуть купити потрібний товар за мінімальною ціною. Обидва види агентів діють автономно і не мають

цілей кооперації. Електронний магазин реєструє появу і зникнення агентів і організовує контакти між ними, легалізуючи один для одного.

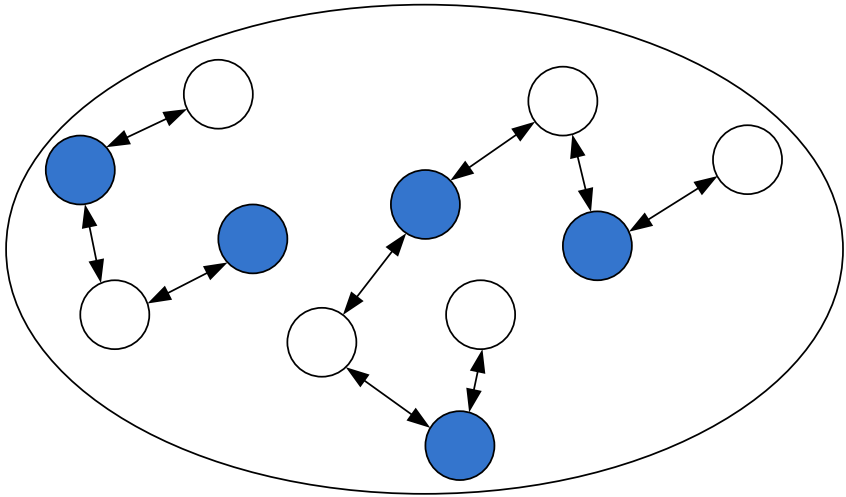


Рисунок 7.1 – Схематичне уявлення електронного магазину: ○ – агент продавець; ● – агент-покупець; ↔ – процес відносин та переговорів між ними

Поведінка агента-продавця характеризується наступними параметрами:

- встановлення бажаної дати, до настання якої необхідно продати товар;
- встановлення бажаної ціни, по якій хочуть продати товар;
- встановлення найнижчої допустимої ціни, нижче якої товар не продається;
- пропонування функції (лінійної, квадратичної та ін.) зниження ціни в часі;
- опис товару, що продається.

Поведінка агента-покупця має такі параметри:

- крайній термін покупки товару;
- бажана ціна покупки;
- найвища прийнятна ціна;
- функція зростання ціни в часі;
- опис товару, що купується.

Взаємодія між агентами-продавцями та агентами-покупцями проводиться за схемою закритого аукціону першої ціни. Поведінка агентів описується простою моделлю, в якій не використовуються знання і міркування. При отриманні від електронного магазину інформацію агентом-

продавцем про потенційних покупців свого товару, він послідовно опитує їх, щоб прийняти рішення про можливість здійснення угоди з ними. Угода укладається з агентом-покупцем, який готовий дати за товар запитовану ціну. Агент-продавець повторно не вступає в контакт з покупцем, поки не опитає всіх потенційних покупців. При цьому ведуться переговори й пропонується початкова ціна або її знижка. Агент-покупець відшукує продавців потрібного товару і пропонує їм свою ціну, яка може збільшуватись в процесі переговорів. Будь-яка угода завершується тільки в разі її схвалення. Схема переговорів є найпростішим випадком взаємодії реакційно діючих автономних агентів. Підсумкова поведінка даної системи цілком адекватно реальності.

Прикладом створення та функціонування мультиагентних систем є віртуальне підприємство. Створення віртуальних підприємств є одним із сучасних напрямків бізнесу, яке в значній мірі стимулюється швидким зростанням інформаційних ресурсів і послуг, що надаються в мережі Інтернет. Появі таких підприємств сприяє скорочення часу життєвого циклу створюваних виробів і підвищення рівня їх складності. При цьому виникає необхідність оперативного об'єднання виробничих, технологічних та інтелектуальних ресурсів. Важливою причиною, що стимулює об'єднання підприємств з метою виживання є посилення конкуренції на товарних ринках.

За сутністю і змістом розглядають віртуальне підприємство можна визначити як кооперацію юридично незалежних підприємств, організацій та індивідуумів, які в загальному бізнес-процесі виробляють продукцію або послуги. Віртуальне підприємство виступає як єдина організація, в якій використовуються методи управління і адміністрування, що базується на застосуванні інформаційних і телекомунікаційних технологій. Метою створення віртуального підприємства є об'єднання виробничих, технологічних, інтелектуальних та інвестиційних ресурсів для просування на ринок нових товарів і послуг.

Кожне реальне підприємство в рамках віртуально представленого підприємства виконує тільки частину робіт із загальної технологічного ланцюжка. При створенні віртуального підприємства вирішуються два головні завдання: декомпозиція загального бізнес-процесу на підпроцеси та вибір оптимального складу реальних підприємств-партнерів, які будуть здійснювати технологічний процес. Перше завдання вирішується із застосуванням методів системного аналізу, а для вирішення другого - засоби мультиагентних технологій.

Завдання оптимального розподілу сукупності підпроцесів серед реальних підприємств в дослідженні операцій формуються як завдання про призначення [5]. Вирішення такого завдання починається з формування множин підпроцесів і потенційних підприємств-учасників. Потім будуються можливі відображення сукупності учасників на множині підпроцесів та здійснюється вибір найбільш прийнятної відображення, яке відповідає конкретним призначенням підприємств на бізнес-процеси. Для розв'язання

останнього використовується механізм аукціону. Схему аукціону по створенню віртуального підприємства наведено на рис.7.2.

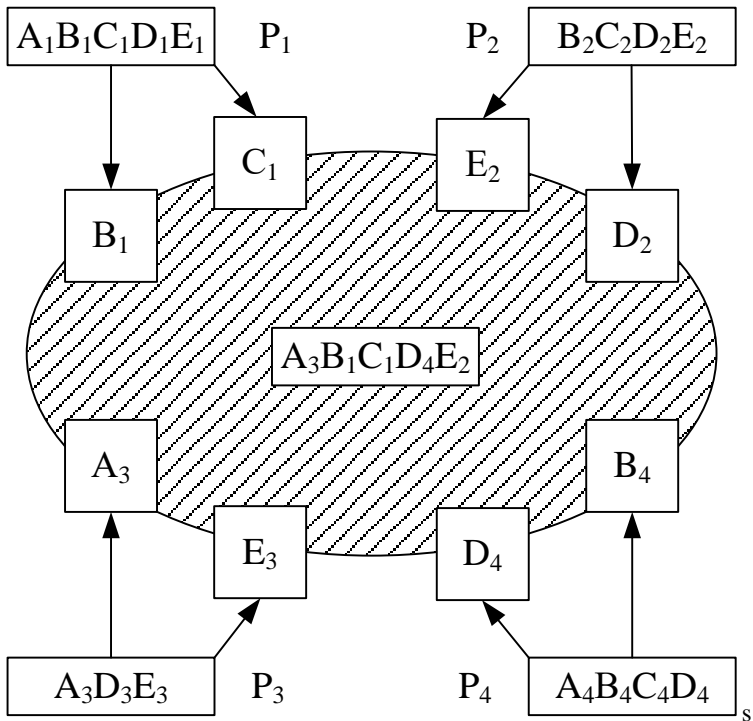


Рисунок 7.2 – Схема створення віртуального підприємства на основі реальних підприємств

Бізнес-процеси А, В, С, D, E і підприємства: P_1, P_2, P_3, P_4 . Зазначені на рис. 7.2 кожне з реальних підприємств представлено інтелектуальним агентом. Одне з реальних підприємств P_1 виступає в ролі аукціонера.

Перед початком аукціону аукціонер формує базу даних і базу знань про усіх учасників аукціону. Потім він виставляє на продаж окремі бізнес-процеси, інформація про які представлена стартовою ціною і вимогами по заданому набору показників. Кожен претендент висуває свої пропозиції за параметрами, які він в змозі забезпечити, а також і свою ціну. Зібравши і обробивши висунуті пропозиції, аукціонер за допомогою деякої моделі міркування впорядковує потенційних претендентів з урахуванням інформації про них. Після цього приймається рішення про вибір призначень або відкидають і висувають нові пропозиції. Слід зазначити, що завдання

створення віртуального підприємства можна віднести до завдань структурного синтезу складних систем, які відповідають заданим вимогам.

Можна твердити, що інтелектуальні МАС прийняття рішень призначені для оцінки якості організаційно-технічних і економічних рішень в процесі діяльності віртуальності підприємства. В даний час відбувається перехід від концепції стабільного бізнесу до мобільного, а тому головну роль при цьому відіграють конкурентоспроможність і гнучкість. В таких умовах підприємствам необхідно постійно трансформувати свої виробничі структури і структури бізнес-процесів. Стає неминучим залучення сторонніх фахівців з області технологій, маркетингу, реінжинірингу і т.д. Оцінка пропонує рішень є складним і постійним видом діяльності, що вимагає участі висококваліфікованих експертів з різних галузей знань, які, як правило, територіально віддалені один від одного. Цим обумовлена актуальність розподіленої комп'ютерної підтримки процесів прийняття рішень на підприємствах із застосуванням мультиагентних систем.

МАС прийняття рішень можливо адаптувати до багатокритеріальної оцінки інноваційної діяльності підприємства [11, 34]. При цьому загальна схема прийняття рішень включає наступні етапи:

- специфікація вимог;
- генерація рішень;
- оцінка альтернативних рішень;
- вибір ефективного рішення.

Оцінку рішень проводить робоча група, яка складається з керівника, аналітика і експертів. Функції між учасниками робочої групи розподіляються наступним чином:

- керівник формує набір показників (критеріїв), які будуть використовуватися для оцінки проектів (рішень), а також підбирає склад групи експертів та складає персональний календар, відповідно до якого експерти виконують свої завдання;
- кожен експерт працює за індивідуальним сценарієм, запропонованим керівником;
- аналітик, функції якого може виконувати керівник, висловлює свою думку про результати проведеної експертами роботи.

Для підтримки групового процесу прийняття рішень використовується програмна реалізація методу аналізу ієрархій [10]. Метод містить наступні основні процедури:

- формування та узгодження ієрархічної структури показників (критеріїв);
- оцінка і узгодження якісних показників (критеріїв) проекту;
- оцінка і узгодження важливості показників (критеріїв);
- ранжування альтернативних рішень і узгодження результатів.

У реалізації перерахованих процедур бере участь сукупність експертів, тому на кожному етапі передбачені процедури узгодження їх думок.

Ядром МАС "Multi Expert" є менеджер (аналітик) знань, який використовує три зовнішніх компонента:

- інформаційну модель проблемної області у вигляді впорядкованого набору показників (критеріїв) якості рішень;
- кошти технічної і програмної підтримки;
- сукупність типів користувачів (керівник, координатор, експерт, аналітик).

Для координації роботи колективом експертів використовується дворівневий механізм узгодження. Кожен з експертів представлений агентом, в завдання якого входить оцінка пропонованих керівником альтернатив по заданому набору показників (критеріїв) якості. За допомогою редактора знань керівник формує завдання експертам і проводить аналіз отриманої від них інформації. Завдання координації поведінки агентів покладено на агента-координатора. Результатом роботи системи є узгоджені експертні оцінки, на підставі яких проводиться багатокритеріальне ранжування альтернатив.

Розглянемо узагальнену структури МАС прийняття рішень та основні функції агентів в системі "Multi Expert" (рис. 7.3).

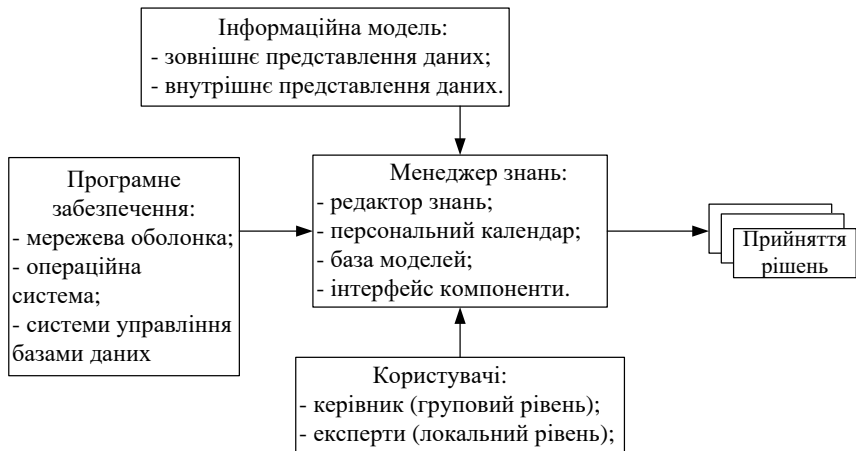


Рисунок 7.3 – Узагальнена структура мультиагентної системи прийняття рішень "Multi Expert"

Функції агента-керівника:

- надає набір процедур для полегшення роботи в розподіленій системі;
- обчислює кінцевий результат на підставі даних, отриманих від інших агентів;

- відстежує узгодженість рішень, що виробляються групою;

- надає засоби візуалізації результатів роботи;

- готує повідомлення агенту-координатору;

- виконує поштові функції в розподіленому середовищі.

Функції агента-координатора:

- забезпечує виконання покрокового алгоритму прийняття рішення;

- підтримує цілісність баз даних системи на груповому рівні і вносить в них необхідні зміни;

- готує діалогові форми для інформаційного обміну через Інтернет.

Функції агента-експерта:

- підтримує виконання поточного кроку завдань;
- готує повідомлення агенту-координатору;
- підтримує цілісність локальних баз даних;
- виконує поштові функції в розподіленому середовищі.

При цьому робота агентів здійснюється наступним чином. Керівник формує завдання, оперуючи довідниками, що містять знання про експертів, показниках (критеріях) якості і рішеннях, які потребують розгляду. Після цього завдання у вигляді вхідного повідомлення M_{inp} надходить агенту-координатору. Агент-координатор визначає склад змін, які необхідно зробити в базах даних на локальному рівні. Він за допомогою наданого йому набору функцій готує інформацію для всіх агентів-експертів робочої групи. Агенти-експерти виконують завдання, призначені для своїх користувачів. В першу чергу це аналіз повідомлень M_{ij} , які надійшли від координатора й відсилають йому відповідні повідомлення M_{0f} . Зазначимо, що i – номер повідомлення, а f – номер експерта.

Агент-координатор збирає повідомлення про готовність виконаних завдань від усіх членів групи. При виконанні пакету завдань його стан змінюється, і надсилається повідомлення агенту-керівника M_{out} .

Керівник може виконувати перевірку узгодженості експертних суджень або на основі обчислень, або за допомогою логічного аналізу наданої йому інформації. Рішення керівника про ступінь узгодженості суджень надсилається агенту-координатору, який просуває завдання на наступний крок або повертає експертів на попередній етап з метою досягнення кращої узгодженості.

7.4 Технології створення та перспективи розвитку мультиагентних систем

Програмно реалізовані агенти, в тому числі і інтелектуальні, відносяться передусім до класу програмного забезпечення, яке здатне діяти самостійно від імені користувача. Створенню програмних агентів передував досвід розробки відкритих систем [8], результатом впровадження яких в практику стало створення архітектури "клієнт-сервер". В даний час найбільшого поширення набули дві моделі такої взаємодії: "товстий клієнт - тонкий сервер" і "тонкий клієнт - товстий сервер". Серверна частина першої моделі реалізує доступ до ресурсів, а додатки до неї знаходяться на комп'ютерах клієнтів. Що стосується другої моделі, то клієнтська програма забезпечує тільки реалізацію інтерфейсу, а сервер об'єднує всі інші частини програмного забезпечення. При створенні МАС використовуються обидві моделі і можуть застосовуватися або статичний підхід передачі даних, або динамічний підхід передачі програмного коду.

Динамічний підхід спирається на парадигму мобільних агентів, які на відміну від статичних можуть переміщатися по мережі. Такі агенти можуть залишати клієнтський комп'ютер і переміщатися на віддалений сервер для виконання своїх дій, після чого можуть повертатися назад. Використання мобільних агентів має позитивні і негативні наслідки. Їх застосування виправдане в тих випадках, коли вони забезпечують наступні можливості [3, 35]:

- зменшення часу і вартості передачі даних;
- розширення обмежених локальних ресурсів;
- полегшення координації;
- виконання асинхронних обчислень.

При використанні мобільних агентів виникає ряд серйозних проблем:

- легальність способів переміщення агентів по мережі;
- верифікація агентів (наприклад, захист від вірусів);
- дотримання прав приватної власності;
- збереження конфіденційності інформації; перенаселення мережі агентами;
- сумісність коду агента і програмно-апаратних засобів мережної машини.

Для реалізації мультиагентних систем, заснованих як на статичних, так і на динамічних розподілених додатках, найбільш перспективними на сьогоднішній день є технології [3, 18]: DCOM (Microsoft Distributed Component Object Model), Java RMI (Java Remote Method Invocation) і CORBA (Common Object Request Broker Architecture). Особливістю об'єктно-орієнтованої інформаційної технології DCOM є інтеграція додатків, які реалізовані в різних системах програмування.

Додатки JavaRMI передбачають створення об'єктів і методів їх обробки. Зазначимо, що вони є доступними для виклику віддаленими програмами, які розміщені на комп'ютерах-клієнтах.

Що стосується інформаційної технології CORBA, то це одне з найбільш гнучких засобів створення розподілених додатків. Її перевагою в порівнянні з Java RMI є наявність спеціальної мови опису інтерфейсів IDL, що уніфікує кошти комунікації між додатками і способи взаємодії з іншими додатками.

Детальну інформацію про програмні продукти, призначених для розробки мультиагентних систем, можна знайти в Інтернеті за адресою: <http://www.agentbuilder.com>.

Для підтримки процесів проектування агентів і мультиагентних СІЕТ розроблені спеціальні інструментальні засоби. Щоб отримати уявлення про їхні можливості і про технології створення MAC, розглянемо в якості прикладу систему Agent Builder.

Інструментарій Agent Builder (Reticular Systems, Inc.) призначений для розробки MAC на основі Java-програм, що дозволяє виконувати їх на будь-якому комп'ютері, де встановлена віртуальна Java-машини (Java Virtual

Machine). Загальна схема процесу проектування та реалізації програм на основі Agent Builder ToolKit представлена на рис. 7.4.

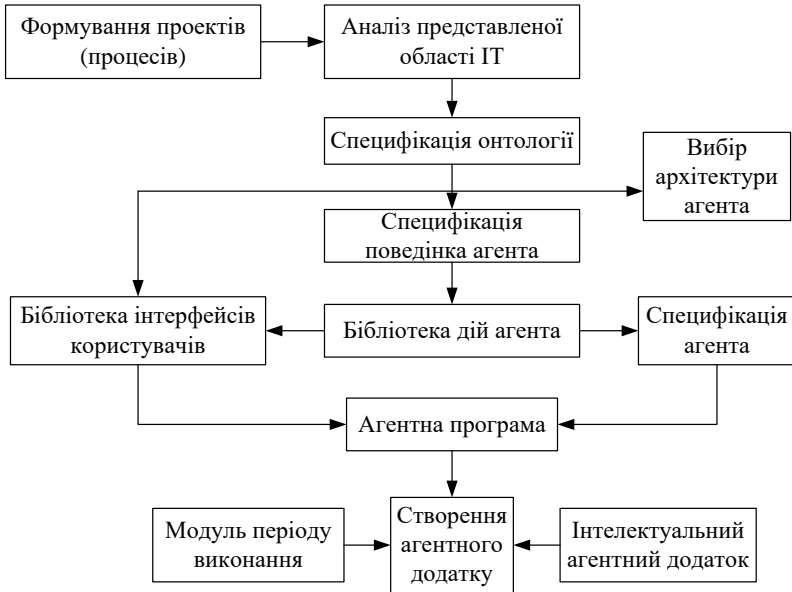


Рисунок – 7.4 Схема процесу проектування додатку в системі Agent Builder ToolKit (ABTK)

При побудові моделі життєвого циклу агентів в ІС можна виділити наступні етапи:

- обробка нових повідомлень;
- визначення правил поведінки;
- виконання дій;
- оновлення ментальної моделі відповідно до заданих правил;
- планування дій.

При цьому ментальна модель агентів містить в собі ряд елементів: опис намірів, бажань, зобов'язань, можливостей, а також правила поведінки агентів. На основі цієї моделі здійснюється вибір тих чи інших дій інтелектуального агента. Правила поведінки в системі Agent Builder реалізуються на спеціальній об'єктно-орієнтованій мові RADL (Reticular Agent Definition Language) у вигляді конструкції When-If-Then. Складові частини правила виконують такі функції:

- When <...> містить нові повідомлення, отримані від інших агентів;
- If <...> порівнює поточну ментальну модель з умовами застосовності правила;
- Then <...> визначає дії, що відповідають поточним подіям, стану ментальної моделі і зовнішнього середовища.

Правила поведінки агентів системи записують в форматі:

Name <Ім'я правила>

When <Message Conditions>

If <Mental Conditions>

Then <Private Actions; Mental Changes; Message Actions>.

На базі мови RADL використовують структури даних, а правила являють собою продукції спеціального виду. При проектуванні додатків необхідно скласти специфікації моделей поведінки агентів, які будуть застосовуватися спільно з класами і методами з бібліотеки дій агентів і бібліотеки інтерфейсів. Agent Builder будучи потужним засобом для подання та обробки знань, не передбачає застосування засобів явного управління логічним висновком.

У зв'язку з швидким розвитком інтернет-технологій виникла необхідність застосування засобів штучного інтелекту для пошуку і обробки інтернет-ресурсів. Застосування інтелектуальних MAC для вирішення завдань збору, пошуку та аналізу інформації в глобальних мережах дає наступні істотні переваги перед традиційними засобами обробки інформації [3]:

- забезпечення доступу користувача до мережевих протоколів в мережі Інтернет;
- паралельне рішення декількох завдань;
- виконання пошуку інформації після відключення користувача від мережі;
- збільшення швидкості і точності пошуку, а також зменшення завантаження мережі за рахунок пошуку інформації безпосередньо на сервері;
- створення власних баз інформаційних ресурсів, які постійно оновлюються і розширюються;
- реалізація можливості співпраці між агентами, яка дозволяє використовувати накопичений досвід;
- можливість автоматично коригувати і уточнювати запити, використовуючи контекст і застосовуючи моделі користувачів.

У табл.7.2 наведені відмінні риси відомих комерційних мультиагентних систем Autonomy [15] і WebCompass [22], призначених для інтелектуального пошуку і обробки інформації в мережі Інтернет.

Недоліком сучасних систем інтелектуального пошуку і обробки інформації є їх слабка здатність до навчання. Тому основні зусилля щодо вдосконалення ІС інформаційного пошуку в мережі Інтернет спрямовані на розвиток моделей подання знань, виведення нових знань, моделей міркування і способів навчання агентів [20, 36, 41].

Одним з успішних дослідницьких проєктів, виконаних в цьому напрямку, став проєкт системи MARRI [21, 37], який було розроблено для пошуку Web-сторінок, релевантних запитам в певній предметній області. Щоб вирішити поставлене завдання дана система використовує знання у вигляді онтології, як впорядкованої множини понять предметної області. Архітектура системи MARRI показана на рис. 7.5.

Таблиця 7.2 – Аналіз системи інтелектуального пошуку і обробки інформації

Характеристика	Autonomy	WebCompass
Категорія користувачів, на яку орієнтована система	Кінцеві користувачі	"Просунуті" користувачі
Підхід до опису предметної області	Технологія нейронних мереж і спеціальні методи розпізнавання образів і обробки сигналів	Ієрархія понять, пов'язаних відношенням типу IS-A, PART-OF, HAS-PART, IS-A, KIND OF і т.д.
Кошти специфікації запитів	Природна мова	"Пряме" використання сформованого користувачем опису предметної області
Методи пошуку релевантної інформації	Нечітка логіка	Пошук по списку ключових слів одночасно на 35 машинах пошуку
Режим навчання пошукових агентів	Є	Нема

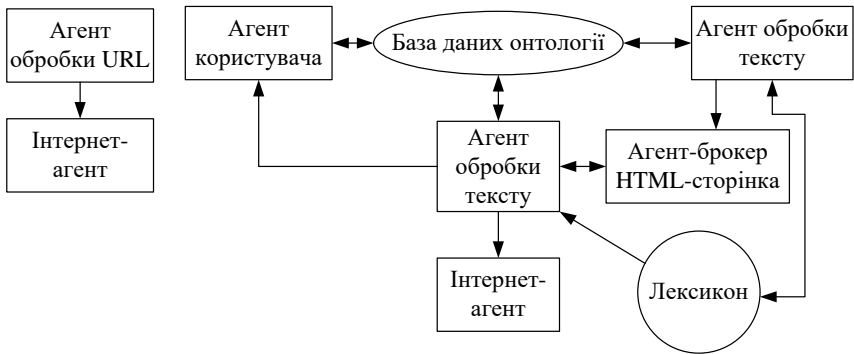


Рисунок 7.5 – Архітектура системи MARRI

В системі програмного засобу MARRI фігурують наступні типи агентів:

- інтерфейсний агент, тобто агент користувача при забезпеченні інтелектуальної взаємодії з користувачем. Агент підтримує процес формулювання запитів та являє результати пошуку у вигляді списку URL або Web-сторінок;

- агенти-брокери типу URL призначені для формування списків інтернет-адрес, що поставляються браузером і типу HTML, що виконують функції запам'ятовування отриманих Web-сторінок і їх розподілу між агентами обробки тексту;

- агент мережі (інтернет-агент) забезпечує зчитування й аналіз заданої сторінки URL або Web-сторінки (URL – автономна Java-програма з власною мережевою адресою). Він повинен уміти виконувати обробку виняткових ситуацій, а також проводити аналіз тексту на сторінках;

- агент обробки тексту спочатку перетворює HTML-текст до подання, з яким працюють морфологічний і синтаксичний аналізатори, а потім проводить семантичний аналіз Web-сторінок для перевірки їх релевантності запиту на основі відповідної онтології. Результат обробки тексту представляється у вигляді синтаксичного дерева, яке повинно відповідати певному фрагменту використовуваної онтології.

Кожен з перерахованих типів агентів, наділений спеціальними знаннями, використовують для підвищення ефективності пошуку інформації. Агенти здатні взаємодіяти один з одним; обмінюватися інформацією, контактувати з браузерами, аналізаторами природної мови і онтологічними базами даних.

Відмітною рисою системи MARRI є уявлення агентів автономними Java-програмами, кожна з яких має власну мережеву адресу (URL). Це забезпечує мобільність агентів, але суперечить політиці безпеки, що не допускає запуск у програми, якщо вони не сертифіковані на даному сервері.

В роботах [9, 38-40] сформульовані проблеми, вирішення яких може істотно просунути вперед технології MAC і дослідження в області ШІ:

1. Припущення про те, що найкраща взаємодія агентів в MAC досягається при безконфліктній кооперації, не завжди справедливе. Це твердження можна аргументувати прикладами біологічних систем, в яких ефективною виявляється кооперація протилежних сторін: "хижак-жертва", "взаємодія симпатичної і парасимпатичної нервових систем". Протидіючі структури дозволяють підтримувати системи з багатокритеріальним управлінням в межах області "непокращених" рішень (область Парето). Звідси випливає, що одним з актуальних напрямків розвитку теорії MAC є реалізація принципів гомеостатичного управління.

2. Створення адекватних механізмів активізації знань, потрібних при вирішенні конкретних проблем. Досвід створення ІС показує, що збільшення кількості знань призводить до ефекту "державної публічної бібліотеки". Володіючи величезним запасом знань, бібліотека не має будь-яких умінь і навичок. Тому однією з істотних проблем інтелектуальних агентів є підвищення їх активності, яка пов'язана не з накопиченням знань, а з умінням активізувати потрібні знання в процесі вирішення завдань. Розробка процедур активізації знань сприятиме створенню дійсно інтелектуальних агентів.

3. Перспективним напрямком є використання ідей рефлексивного управління в MAC. Експерименти з агентами, наділеними здатністю до рефлексивним міркуванням, показали ефективність даного підходу.

4. Побудова моделей етичних систем і вчинків агентів в середовищі існування.

5. Дослідження впливу зовнішніх факторів на поведінку колективу штучних агентів і особистісних характеристик агентів (психологічні типи, оптимізм в оцінках досягнення цілей, азартність, завзятість, конфліктність і т.п.).

Висновки по розділу 7

1. Зазначено, що інтелектуальний мультиагентний метод можливо використати при створенні та функціонуванні штучного інтелекту та інтелектуальних транспортних та виробничих систем. Метод базується на теорії агентів. Дано класифікацію агентів в інтелектуальних системах. Зазначено сукупність основних властивостей, які притаманні інтелектуальним агентам та їх основні ознаки. Інтелектуальна мультиагентна система являє собою множину розподілених актуальних агентів, які мігрують в мережі в пошуках релевантних даних, знань (інформації) та процедур.

2. Головними відмінностями агентної системи від звичайної продукційної системи пов'язані з наявністю механізму формування цілей і модуля комунікації забезпечення взаємодії агентів. Адаптивна поведінка агента дозволяє реалізувати архітектуру інтелектуальної системи на основі їх класифікуючих ознак за Дж. Холландом. Наведено принципові відмінності між традиційним продукційними системами і гібридними інтелектуальними мультиагентними системами, які дозволяють використання можливостей інтелектуальних та реактивних архітектур.

3. Виявлено, що головними характеристиками будь-якої взаємодії агентів є: спрямованість, вибірковість, інтенсивність, динамічність. Відображено ці характеристики у випадку мультиагентних систем, виділені проблеми аналізу взаємодії між агентами та сформульовані завдання, розв'язання яких необхідне. Визначено, що взаємодія агентів обумовлена рядом причин, найважливіші з яких наступні: сумісність цілей і ставлення до ресурсів; необхідність залучення недостатнього досвіду і взаємні зобов'язання. Кожний агент володіє обмеженим набором знань (інформації) необхідних для реалізації їх власних і спільних цілей. Зазначено різні ситуації, які можливі при взаємодії інтелектуальних агентів з іншими агентами. На основі моделювання взаємодії агентів виділені ознаки природних систем, які слід використати при моделюванні віртуальних середовищ.

4. Сформульована сукупність проблем, які виникають при моделюванні колективної роботи агентів, виявлено особливості колективної поведінки агентів. В моделях координації поведінки агентів використано ряд припущень та ідей. Розглянуті такі моделі координації поведінки агентів: теоретико-ігрові моделі; моделі колективної поведінки автоматів; моделі програмування колективної поведінки; моделі на основі BDI-архітектури; моделі координації поведінки на основі конкуренції. В останніх моделях використовується механізм аукціону, використання якого є основою

припущень про можливість явної передачі корисності від одного агента до іншого або до системи "агент-аукціонери". Наведена класифікація аукціонів і дано коротку характеристику.

5. Організація взаємодії агентів в мультиагентних системах з використанням різних механізмів координації їх поведінок. Розглянута на прикладі електронних магазинів та віртуальних підприємств. Зазначено специфіку поведінки агентів продавця і покупця та процедура їх взаємодії. Дано характеристику віртуального підприємства, мету його створення. Розроблена загальна схема прийняття рішень, оцінку прийнятих рішень керівником, аналітиком, експертами. Для підтримки групового прийняття рішень використано програмну реалізацію методу аналізу ієрархій і зазначено проведення ряд основних процедур. Зазначено, що ядром мультиагентної системи є менеджери знань (аналітики), які використовують зовнішні компоненти. Для координації роботи колективом експертів використовують дворівневий механізм узгодження. Визначено основні функції агентів: керівника, координатора, експерта.

6. Динамічний підхід спирається на парадигму мобільних агентів, які можуть переміщуватися по мережі. Виявлені ряд серйозних проблем при використанні мобільних агентів. Наведено схему реалізації процесу проектування додатку в системі АВТК. Наведено етапи життєвого циклу агентів, а також ментальна модель, що визначає опис намірів, бажань, зобов'язань і можливостей, а також правила поведінок агентів. На основі цієї моделі здійснюється вибір тих чи інших дій інтелектуальних агентів. Дано аналіз системи інтелектуального пошуку і обробки інформації в мережі Інтернет та архітектуру системи MARRI. Сформульовано проблеми, вирішення яких може істотно просунути вперед технології мультиагентних систем.

РОЗДІЛ 8 МЕТОДИ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ І ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

8.1 Проблеми проектування інтелектуальних транспортних і виробничих систем

Професійний підхід до завдань проектування ІТС і ІВС є однією з найважливіших передумов їх успішного функціонування. Ці системи є відкритими, оскільки не можуть існувати в ізоляції від зовнішнього середовища, і цілеспрямованими, оскільки в їх склад входять люди. Властивості відкритості та рішучості притаманні системам, склад і структура яких змінюються з плином часу. У процесі розвитку відбувається зміна властивостей, виконуваних функцій і механізмів функціонування транспортних і виробничих систем. Причому специфічною рисою, що відрізняє їх від природних, є наявність сукупності цілей всередині системи, в той час як для природних систем характерні зовнішні цілі. Формуючи множинні і часто суперечливі цілі, далеко не завжди можливо правильно передбачити шляхи і наслідки досягнення. Напевно, це неможливо в принципі, тому нічого не залишається, крім хаотичного, евристичного або систематичного пошуку варіантів досягнення цілей, спроб прогнозування можливих наслідків прийнятих рішень і суб'єктивних оцінок цих наслідків на основі доступних знань. Істотну підтримку при вирішенні таких складних проблем можуть надати інформаційні технології. Проблеми розроблення творчих рішень, їх оцінки та прогнозування наслідків в умовах невизначеності вимагають для свого рішення застосування інтелектуальних методів і комп'ютерних систем, що володіють знаннями і здатністю до мислення.

Традиційне проектування ІС містить завдання їх аналізу, пов'язані з накопиченням і дослідженням необхідної інформації, та задання синтезу конкретних варіантів систем, які відповідають заданим вимогам. Дослідження проблем проектування набули найбільшого розвитку в області техніки, тому, розглядаючи питання цих проблем, використовують накопичений досвід в технічних системах. Проектування об'єкта може проводитися на основі прототипу або без нього.

Мета проектування ІС на основі прототипу зазвичай полягає в його вдосконаленні, яке орієнтоване або на поліпшення якості виконання вже існуючих функцій, або на забезпечення нових функцій. При цьому можуть включатися додаткові умови, обумовлені технологічними можливостями транспортного або виробничого підприємства, фірми, компанії: для переходу від функціонування прототипу до функціонування їх нового зразка. Зазначимо, що проектування без прототипу не містить таких вимог. При відсутності прототипу проектувальники використовують інформацію про існуючі об'єкти і проводять аналіз на новизну об'єкта, який проектується. Якщо цього не робити, то можна прийти до відомих рішень, даремно витративши час і кошти.

При проектуванні ІС зазвичай не переслідується мета новизни. Проектування без прототипу відповідає завданню створення нової системи (підприємства, фірми, корпорації тощо), тобто системи, яка не існувала раніше. При цьому цілі, функції, а іноді структура і сукупність властивостей створюваної системи можуть бути давно і добре відомими, але в процесі проектування не використовується конкретний аналог в якості відправної точки для вдосконалення або як орієнтир. З одного боку, проектування без прототипу ускладнюється, у зв'язку з відсутністю початкового або "ідеального" варіанту, але, з іншого боку – розширює простір пошуку проектних рішень, допускаючи довільний вибір траєкторії пошуку.

Завдання проектування ІС на основі прототипу можуть мати різні постановки:

1. Проектування системи, що не існувала раніше, але в якості прототипу беруть модель транспортного або виробничого підприємства, що успішно працює.

2. Кардинальне перепроектування існуючої системи, яка при цьому знищується, а на її місці проводять використання ряду колишніх елементів, передбачається створення нової системи. Якщо керуватися положеннями теорії розвитку [2, 29, 44], то дана постановка завдання перепроектування виникає тоді, коли існуюча система вичерпала свої ресурси вдосконалення, стала нестійкою і неефективною досягла точки біфуркації. Тому навіть невеликі флуктуації можуть привести систему до загибелі або до такої структурної перебудови, яка забезпечить можливості подальшого розвитку.

3. Кардинальне перепроектування існуючої системи, орієнтоване на її вдосконалення і не допускає її знищення (реінжиніринг). Така постановка завдання можлива тоді, коли система "усвідомлює" характер процесів розвитку, "стежить" за зміною свого оточення і заздалегідь вживає заходів, спрямованих на зміну своєї самоорганізації з метою виживання наближаючій точці біфуркації.

4. Постійне і поступове вдосконалення існуючої системи на основі моніторингу зовнішнього середовища і тенденцій розвитку організаційних систем, тобто впроваджується концепція постійно розвиваючої підприємства.

Слід зауважити, що в залежності від конкретних умов можлива будь-яка з наведених постановок завдань проектування. Що стосується реінжинірингу бізнес-процесів (BPR), то ця концепція набуває поширення і узгодження в рамках суперечливих цілей. При цьому відбувається істотне підвищення ефективності і якості функціонування підприємства зі стабільною продуктивністю. При цьому BPR має наступні особливості [34, 45]:

- компанія змінює концепцію: від управління за цілями до управління за результатами [32];

- спостерігається перехід від орієнтації на функціональні можливості до орієнтації на процеси;

- перехід від пірамідальної (ієрархічної) структури управління фірмою, підприємством, компанією до плоскої (горизонтальної);

- підвищення рівня кваліфікації кадрів і зміна ролі виконавців конкретних робіт, обумовлене необхідністю зростання продуктивності праці, збільшення різноманітності вирішуваних завдань і розширення прав прийняття самостійних рішень;

- зміна ролі споживача в процесах управління діяльністю фірми, підприємства, компанії, як більш важливою;

- орієнтація на різноманітне виконання процесів;

- раціональний підхід до розміщення і розподілу ресурсів, а також до організації бізнес-процесів;

- посилення ролі інформаційних технологій в процесі діяльності фірми, підприємства, компанії.

Виявлено, що реінжиніринг дозволяє багаторазово поліпшити основні показники якості діяльності фірми, компанії, підприємства, за рахунок зміни принципів організації. При цьому цикл BPR включає наступні етапи:

1. Постановка завдання та створення команди для розробки проекту реінжинірингу підприємства, фірми, компанії.

2. Розробка моделі досліджуваного підприємства, фірми, компанії та оцінка ефективності їх функціонування.

3. Перепроектування бізнес-процесів, сутність якого полягає в розробці більш ефективних робочих процедур і визначенні змін, необхідних для переходу до них від існуючих.

4. Розробка бізнес-процесів на рівні трудових ресурсів із визначенням видів робіт, розробкою системи мотивації, створенням інформаційних систем, навчанням та підбором кадрів.

5. Розробка підтримуючих інформаційних систем.

6. Впровадження перепроектованих процесів, коли реінжиніринг стає одним з видів постійної діяльності фірми, підприємства, компанії, оскільки поряд з заходами постійного вдосконалення поточних процесів періодично виникає потреба в реорганізації загального бізнес-процеса. На позитивний успіх реінжинірингу впливають такі фактори: точне розуміння завдання; мотивація; зацікавленість в кардинальному поліпшенні результатів діяльності і готовність керівництва фірми, підприємства, компанії ризикнути, вкладаючи кошти в реінжиніринг; рівень управління і кваліфікація кадрів; хороша методологічна основа.

Наукову і методологічну базу проектування та дослідження бізнес-процесів на фірмі, підприємстві, компанії, становлять методи теорії систем, математичного моделювання, дослідження операцій, інформатики, штучного інтелекту, а також саме знання і інформація з відповідних областей бізнесу.

8.2 Системний підхід до побудови і дослідження інтелектуальних транспортних і виробничих систем

Системний підхід до побудови і дослідження ІТС і ІВС складається з системного аналізу та системного синтезу. Системний аналіз – це основний метод дослідження складних систем, в тому числі ІТС і ІВС. Загальні етапи

для будь-якої методики системного аналізу – це постановка завдання, дослідження системи і вибір найкращих рішень, формування опису системи.

На етапі постановки завдання визначаються цілі дослідження, проводиться виділення системи з середовища, розглядаються способи взаємодії системи із зовнішнім середовищем, формулюються основні припущення.

Етап формування опису системи включає наступні дії:

- декомпозиція системи на підсистеми та елементи;
- виділення сукупності підсистем;
- визначення загальної структури системи;
- визначення зв'язків структурованих елементів системи із зовнішнім середовищем між собою;
- виявлення факторів, що підлягають врахуванню;
- вибір підходу до подання системи;
- формування варіантів подання системи.

Особливістю методик системного аналізу є те, що вони спираються на поняття системи і використовують загальні закономірності будови, функціонування і розвитку систем [1, 3, 4, 8, 12, 17, 21, 25, 42]. Специфічними для конкретного дослідження етапами можуть бути синтез можливих структур досліджуваної системи, прогнозування поведінки системи при заданих умовах, виявлення способів досягнення певних станів.

Дослідження транспортних та виробничих систем полягає в накопиченні знань про властивості і відносини існуючих об'єктів до конкретних цілей. При проектуванні систем створюються нові об'єкти із заданими властивостями. Виявлено, що складним ІС характерні такі основні властивості [25, 46, 48]:

- цілісність: як властивість системи, яка не є сумою властивостей її елементів;
- комунікативність: це коли система є підсистемою в системі більш високого рівня;
- ієрархічність;
- еквіфінальність: здатність складної системи досягати однакового кінцевого стійкого, незалежного від часу, при різних стартових умовах і різними шляхами, детермінованого початковими умовами;
- історичність;
- закон необхідної різноманітності;
- закономірності цілеутворення: залежність цілей від рівня пізнання об'єкта (системи), а також від зовнішніх і внутрішніх факторів.

До головних загальносистемних атрибутів відносять первинні елементи системи, відносини між елементами, закони композиції відносин, фон системи [30,31]. В. Прангшвілі сформулював вісім законів композиції, яким підкоряється функціонування будь-яких складних систем [47]:

- переведення системи з одного стану в інший, зводячі до мінімуму впливу в критичній точці фазового переходу стану;

- закон еволюції, який свідчить, що будь-яка система в процесі розвитку проходить власний еволюційний шлях;
- закон піраміди свідчить, що коефіцієнт корисної дії будь-якої реальної системи не може досягати 100%, в зв'язку з чим енергія, поглинута системою ззовні, поступово зменшується в міру наближення до кінцевої мети;
- закон "острівкового ефекту", що дозволяє визначити можливий ступінь автономності системи в залежності від її параметрів і від властивостей зовнішнього середовища;
- закон єдності і боротьби протилежностей, що визначає можливість і умови об'єднання протиборчих сторін;
- закон причинно-наслідкових зв'язків;
- закон нестабільності системи, в процесі порушення когерентної взаємодії цієї системи;
- закон залежності потенціалу системи від зміни характеру взаємодії між її елементами.

Можливо виділити три основні групи властивостей складних ІС, які можна поділити на:

1. Властивості, що визначають взаємодію системи із зовнішнім середовищем (стійкість і характеристики станів системи).
2. Властивості, що характеризують внутрішню будову (структуру) системи. Структура систем будь-якої природи може змінюватися як в результаті взаємодії із зовнішнім середовищем, так і в результаті протікання внутрішніх процесів. При цьому ентропія виступає параметром, що характеризує зміну структури в часі. Ентропія у відкритих системах може як збільшуватися, так зменшуватися за рахунок її збільшення у зовнішньому середовищі.
3. Інтегральні властивості, що описують поведінку системи. Це передусім корисність, ефективність, надійність, керованість, безпека, живучість та ін. Одні властивості системи успадковують властивості її елементів, інші визначаються як деяка комбінація властивостей елементів, а ряд властивостей системи можливо розглядати як нові властивості, відсутні у її елементів. У загальному випадку інтегральні властивості складної ІС не є сумою властивостей її частин, тобто порушується принцип суперпозиції.

Системний підхід до проектування ІС полягає в розгляді всього комплексу проблем і завдань, що виникають протягом життєвого циклу досліджуваної системи. Основні аксіоми системного проектування ІС сформульовані в роботі [28]:

1. З нерозв'язності загального завдання проектування систем випливає необхідність її декомпозиції на сукупність локальних завдань, упорядкованих багаторівневої паралельно-последовної логічної схемою проектування.
2. З невизначеності вихідних даних і обмежень в загальному завданні проектування випливає необхідність їх прогнозування та обміну проектними рішеннями між функціональними осередками системи проектування відповідно до певної логічної схеми.

3. З логічної суперечливості загального завдання проектування випливає необхідність організації ітераційних циклів, які визначають відповідність системних вирішальних процедур.

4. З неможливості сконструювати апіорі "наскрізне" правило переваги випливає необхідність побудови багаторівневого критерію оцінки проектних рішень.

Формальний опис складної ІС є необхідним етапом дослідження. Формальні моделі потрібні для дослідження внутрішньої будови систем, для прогнозування, а також для визначення оптимальних режимів, їх функціонування. Найбільш високий рівень абстрагування мають лінгвістичний і теоретико-множинний способи опису систем.

Лінгвістичний підхід до опису ІС [17] випливає з "характерних рис" системи. Цей підхід має інтерес через те, що знання у вигляді виду інформації, яка найбільш доступна. В плані лінгвістичного підходу поступається в плані компактності теоретико-множинному способу опису. Алгебраїчний підхід до опису систем, розвинений Месаровичем і Тахакарой [21], у багатьох випадках дозволяє отримати корисні результати, але існують завдання, для яких більш природними є описи інших типів.

Найбільш поширеним є – теоретико-множинний спосіб опису. При цьому найбільш розвиненим напрямом теорії систем є феноменологічний, який базується на поданні системи S як деякого перетворення вхідних впливів X у вихідні величини Y , тобто $S \in XxY$.

Відкриті інтелектуальні системи неможливо уявити у вигляді функції, що дозволяє отримати вихід по входу через наявність невизначеностей. Вхідні впливи у відкритій системі можна розділити на дві складові: визначені U і невизначені M , тоді маємо $X = UxM$, $S \in UxMxY$.

В умовах невизначеності традиційним прийомом є посилення ступеня розмитості мови опису, тому часто в таких випадках переходять від розгляду вхідних і вихідних величин до розгляду підмножин їх елементів. Це призводить до імовірнісним і нечітким описам ІС. Характерна риса систем, в яких бере участь людина – це прагнення до певної мети, тобто її цілеспрямованість. Для опису цілеспрямованих систем застосовується підхід, відмінний від феноменологічного, який полягає в тому, що система описується за допомогою деякого завдання прийняття рішень (ЗПР).

Система $S \in XxY$ – це система прийняття рішень. Якщо існує така множина ЗПР D_x , $x \in X$, розв'язок яких буде належати множині D_x та існує відображення $T: Z \rightarrow Y$, що для $x \in X$ і $y \in Y$ пара (x, y) належить системі S тоді і тільки тоді, коли знайдеться таке $z \in Z$, що $z \in$ рішенням завдання D_x , а $T(z) = y$.

Для конкретної системи можна отримати як феноменологічний, так і цілеспрямований опис, якщо визначено мету. [25] Існують різні підходи до формування цілей проектування. Сформований на практиці стереотип – ясно поставлена мета є найголовніша умова успіху. Це в деякій степені суперечить досвіду фахівців з системного аналізу, які стверджують, що мета створення системи та її складові уточнюються в ході роботи. Мета функціонування формується на початкових стадіях проектування, а досягається в момент

часу $t = T$, тому в процесах проектування необхідно здійснювати дослідження і розробку образів майбутнього системи на інтервалі $0 < t < T$. В зв'язку з цим однією з умов, що забезпечують успіх будь-якого проекту є побудова наступних прогнозів:

- прогноз стану або поведінки зовнішнього середовища (надсистеми), яка взаємодіє з досліджуваною ІС (об'єктом);
- прогноз зміни цілей функціонування і структури досліджуваної системи;
- прогноз розвитку конкуруючих або протигорчих підсистем, їх характеристик і стратегій поведінки.

Взаємодія ІС із зовнішнім середовищем, а також елементів системи один з одним може бути представлено моделями структури і моделями функціонування. Модель структури в залежності від мети дослідження може мати такі різновиди:

- зовнішня модель, коли систему представляють в канонічному вигляді, а зв'язки із зовнішнім середовищем за допомогою входів і виходів;
- ієрархічна модель, в системі відбувається поділ за рівнями з використання принципу підпорядкування нижчих рівнів вищим;
- внутрішня модель, в якій відображені склад та взаємозв'язки між елементами системи.

Функціонування ІС може бути представлено:

- моделлю життєвого циклу системи, що характеризує процес існування системи від її задуму до загибелі;
- операціонально моделлю системи, що представляє сукупність процесів її функціонування за основним призначенням.

Існують різні підходи до моделювання складних ІС [33].

Побудова макромоделей великих систем, здійснюється на основі статичного підходу, які можуть використовувати різні типи описів: теоретико-множинний, лексикографічний, топологічний та ін. Макромоделі дають уявлення про залежність стану системи від поведінки людини і зовнішнього середовища, але не враховують змагальний характер розвитку і не містять уявлень про ефективність [14, 20].

Структурно-функціональний підхід [23, 26, 40] пов'язаний з побудовою моделі структури, елементами якої являються функціями. При виявленні механізму, що породжує функції, а також використовують теоретико-множинний апарат і математико-лінгвістичні засоби.

Ситуаційне моделювання пропонується для розв'язання завдань динамічного управління складними інтелектуальними системами в умовах невизначеності [27]. В системі представлено кінцевий набір можливих ситуацій і відповідних їм управлінських рішень. Можливість класифікації ситуацій обумовлює застосованість цього підходу.

Імітаційне моделювання ґрунтується на використанні суб'єктивних припущень дослідників про динаміку процесів, що розглядаються [13, 19]. Можливо одержати диференціальні рівняння тільки для ідеалізованої структури складних систем при усереднених значеннях параметрів в процесі

моделювання їх динаміки. Прикладами можуть служити моделі системної динаміки Дж. Форрестера [37, 38]. Розроблені ним точкові моделі дають хороші результати в тих випадках, коли вони достатньо прості і коли оперують з великими просторами усереднення змінних. Ускладнення зазвичай супроводжується переходом до моделей розподілених в просторі. При цьому виникають серйозні труднощі із завданням граничних умов, визначенням невідомих коефіцієнтів рівнянь, а також складності обчислювального характеру.

Імітаційне моделювання дискретних систем і процесів пов'язана в основному з розробкою спеціалізованих мов (SIMULA, GPSS і ін.). Вони застосовуються при моделюванні технологічних процесів, а також моделювання функціонування організаційних систем. Розвиток технологій програмування та штучного інтелекту істотно полегшило процес розробки імітаційних моделей. З'явилися мови і системи інтелектуального імітаційного моделювання [13], доступні широкому колу користувачів. На ринку програмного забезпечення популярні візуальні пакети системної динаміки Ithink, ReThink, PowerSim і т.д. [43].

Синергетичний підхід до моделювання складних систем [2, 29, 41] враховує нелінійність складних систем, одним з проявів якої є порушення принципу суперпозиції. В даному підході використовується динамічна імітаційна модель системи, що описує процес її розвитку [2]. Основоположні поняття в теорії розвитку – інформація і ентропія. Найбільш відображення ідея про зв'язок ентропії та інформації отримала у вигляді не ентропійного принципу Бриллюена [9]:

В процесі еволюції систем істотним є не кількість інформації, а її цінність. Це тісно пов'язано зі ступенем використання інформації. Цінність інформації є тим більшою, чим менше існує способів виконати необхідну функцію не володіючи цією інформацією. Іншими словами, цінність характеризує незамінність інформації. У процесі використання інформації відбувається відбір елементів-ознак, які дають переваги в ході розвитку [10, 36, 49].

Проектування систем завжди передбачає вирішення завдань синтезу, які в залежності від вихідних даних поділяють на три класи синтезу [25]:

- структури, при заданих алгоритмах функціонування;
- оптимальної поведінки і алгоритмів функціонування системи при відомій структурі;
- структури і алгоритмів функціонування, розподіл функцій за елементами і визначення оптимального складу.

Вимоги, що пред'являються до синтезуючих систем, залежать від конкретних умов і визначальним чином впливають на якість одержуваних рішень. Вибір оптимальних рішень з множини існуючих ускладнюється наступними випадками:

- альтернативні рішення реально не існують;
- відсутні кількісні або об'єктивні вимірювання властивостей системи, що проектується;

- відсутнє уявлення про найкраще рішення або воно є неоднозначним і суперечливим;
- є необхідність врахування багатьох критеріїв в процесі прийняття рішень;
- вимоги змінюються з плином часу.

Завдання структурного синтезу вважається найбільш важким для формалізації проектної процедури [23]. Для синтезу необхідна інформація про базові елементи інтелектуальної системи, макроелементів і узагальнені структури проєктованого об'єкта. В процесі розробки інтелектуальних систем, як правило використовуються автоматизація структурного синтезу. Для представлення знань про об'єкти синтезу зазвичай використовуються об'єктно-орієнтовані моделі. Поширеним засобом представлення узагальнених структур є I-АБО-дерева. Відомі такі підходи до алгоритмізації структурного синтезу:

- перебір закінчених структур;
- нарощування структури;
- виділення варіанту з узагальненої структури;
- трансформація готових описів [5].

Відсутність суворого загального рішення завдання синтезу складної неоднорідної системи обумовлено наступними причинами:

- початкова інформація про склад елементів і відносин між ними обмежена, різними рівнями опису системи відповідають свої склад елементів;
- можливі альтернативні способи поділу складної системи на елементи;
- в повному обсязі властивості інтелектуальної системи можна отримати підсумовуванням властивостей її частин;
- в процесі формалізації зв'язки між елементами зазвичай подаються через бінарні відносини або відносини, що зводяться до бінарним, в той час відомо, що інтелектуальна система, будучи цілісною організацією, не зводиться до бінарним відносин;
- проєктування нових систем часто є пошуком принципово нових рішень, отже, ефективний метод вирішення завдання повинен включати процеси, що ведуть до утворення нових структур з новим складом елементів і відносинами між ними.

8.3 Засоби комп'ютерної підтримки та удосконалення (реінжиніринг) інтелектуальних систем

При проєктуванні або моделюванні ІС є можливість достатньо широко застосовувати засоби комп'ютерної підтримки, особливо автоматизованого проєктування. Останні мають статус методик і стандартів [23]. На практиці відомі методики функціонального, інфологічного і поведінкового проєктування, які закріплені стандартами серії IDEF (Icam DEFINition). Методика Structured Analysis Design Technology (стандарт IDEFO) орієнтована на побудову функціональних моделей інтелектуальних систем управління

виробництвом, бізнесом і т.п., які потім аналізуються різними фахівцями і використовуються при розробці структурних і імітаційних моделей. Поведінкове моделювання (стандарти IDEF2, IDEF3) засновано на побудові імітаційних моделей складних систем з використанням теорії масового обслуговування, мереж Петрі і кінцевих автоматів. Методики інфологічного проектування (стандарти IDEF1, IDEF1X) орієнтовані на підтримку створення баз даних на основі ER-моделей (сутність-зв'язок). Головним результатом застосування цих засобів є економія часу, який витрачається на перетворення описів і форматів даних, що використовуються на різних етапах і в різних завданнях проектування.

Проведення реінжинірингу пов'язано з вирішенням складних дослідницьких завдань і розробкою засобів інформаційної підтримки діяльності підприємства, тому неможливо без застосування програмних засобів. Більшість транспортних і виробничих сучасних фірм і компаній при вирішенні своїх завдань орієнтуються на використання CASE-технологій і засобів швидкої розробки додатків. Можна виділити наступні критерії програмних засобів, які використовуються на практиці [34].

1. Створення діаграм і інструментальних пакетів відбувається за допомогою програмних засобів: ABC Flowcharter (Micrografx), Process Charter (Scriptor), Ithink (High Performance Systems). Вони мають невисоку вартість і переважно використовуються моделі бізнес-процесів. Ці моделі подаються у вигляді діаграм, які не пов'язані із засобами швидкої розробки додатків.

2. Для побудови потокових моделей використовуються: Action-Workflow Analyzer, Process Architect. Вони дозволяють здійснювати опис потоків робіт, будувати плани роботи над проектами. Разом з тим зазвичай вони не володіють потужними інструментами аналізу одержуваних планів.

3. При побудові й аналізу системи імітаційного моделювання використовуються: Modsim, Arena, ProModel, ReThink, РДО. Вони дають можливість аналізувати моделі поведінки досліджуваних систем графічними засобами з використанням спеціалізованих бібліотек і мов. Ці категорії має високу вартість і складна в освоєнні.

4. Для характеристики CASE-системи і засобів швидкої розробки додатків використовують Framework, Designer2000, System Architect. Вони орієнтовані на підтримку процесів створення комп'ютерних баз даних і додатків.

5. Багатофункціональні засоби автоматизації реінжинірингу (WorkFlow Analyzer, ARIS Toolset, ReThink+G2) орієнтовані на професійних програмістів і вимагають спеціальної підготовки. Вони мають можливість підтримки на різних стадіях реінжинірингу та стикування додатків. Ці програмні засоби закріплені стандартами серії IDEF та дозволяють здійснювати колективну розробку моделей інтелектуальних систем.

Жодна з перерахованих категорій програмних засобів не охоплює всього різноманіття завдань проектування та реінжинірингу, тому розвиток методичної та програмної бази в цьому напрямку активно триває. Проектування і вдосконалення ІС пов'язане з вирішенням завдань

прогнозування, структурного синтезу, колективного вибору раціональних рішень. Підтримку у вирішенні цих проблем можуть надати розробки в області нейромережових і мультиагентних технологій, DM&KDD, експертні системи і еволюційні алгоритми.

Програмним засобом ReThink описують моделі, що передбачають деталізацію на основі ієрархічного уявлення. Процес функціонування моделей демонструється засобами анімації. При порівнянні проектів ІС передбачено формування вартісних і тимчасових характеристик. Існує також можливість перевірки гіпотез типу "Що – Якщо" на основі реалізації різних сценаріїв. Програмний засіб є відкритим для долучення додатків і баз інформації (знань). Вона орієнтована на колективну роботу з додатками на основі архітектури "клієнт-сервер".

Застосування BPR (Business Process Reengineering), або реінжинірингу, як інформаційної технології залежить від сукупності зовнішніх умов, в яких працюють фірми, підприємства, компанії. Враховуються також сукупність внутрішніх факторів. З'ясуємо можливість застосування BPR на вітчизняних транспортних і виробничих підприємствах в сучасних умовах:

1. BPR орієнтований на збільшення ефективності роботи підприємств, фірм, компаній в десятки разів. Це можна забезпечити двома основними джерелами: впровадження інформаційних технологій і підвищення продуктивності праці. Позитивний ефект від впровадження інформаційних технологій BPR можливо очікувати там, де управління практично неавтоматизоване. Разом з тим, часто наявні проблеми, пов'язані з помилками, допущеними в моделях. При підвищенні продуктивності і якості праці, то слід зазначити, що за рахунок цього ресурсу очікувати дуже великого ефекту, оскільки він не є нескінченним.

2. BPR під силу фірмам, підприємствам і компаніям з хорошими фінансовими показниками, які мають можливість залучати кваліфіковані кадри. Це можна пояснити наступним: по-перше, на проведення BPR потрібні чималі кошти, а по-друге, впровадження результатів BPR передбачає наявність кадрів, які здатні до виконання нових завдань і праця яких буде належним чином оплачуватися.

3. Статистичні дані про результати проведення реінжинірингу для розвинених країн свідчать про те, що далеко не у всіх випадках вони були успішними і що істотного підвищення ефективності домагаються, як правило, фірми, підприємствакомпанії з високими показниками своєї управлінської діяльності. Виходить, що там, де дійсно є серйозні проблеми з управлінням, таким способом їх вирішити не можна.

Зазначене враховувати при виборі стратегії проектування або вдосконалення структури транспортного та виробничого підприємства. Багато з вітчизняних підприємств просто не готові до проведення BPR, поки не сформовані стратегії їх сталого розвитку, напрямки та види діяльності, не обстежені ринок і стан матеріальних і трудових ресурсів. Якщо керівництво фірм, компаній, підприємств, розуміє BPR як комп'ютеризацію управлінської діяльності, то воно має розібратися перш за все з тим, чи підходить

пропонована система автоматизації для роботи в конкретних умовах даного підприємства, а також виявити гарантії щодо їх працездатності. Такий підхід дозволить уникнути від невиправданих витрат величезних коштів на техніку, програмне забезпечення та послуги консалтингових фірм.

Таким чином, чітке розуміння цілей і можливостей застосовуваних технологій проектування інтелектуальних систем, зокрема BPR, є необхідною умовою для правильного вибору стратегії та методів їх вдосконалення.

8.4 Метод колективного вибору рішень в інтелектуальних системах

Однією з ключових проблем процесів проектування ІС є прийняття рішень. Слід зауважити, що велика частина розглянутих раніше ІС орієнтована саме на підтримку процесів прийняття рішень, які відрізняються великою різноманітністю. ІС, використовуючи закладені в них знання та інформацією, здатні допомогти фахівцеві поставити діагноз, побудувати прогноз, вибрати раціональний варіант дій.

При проектуванні ІС виникають завдання колективного багатокритеріального вибору, ускладнені наявністю взаємних вимог його учасників. Підприємець, який збирається відкрити власну справу, повинен вибрати вид і форму діяльності, підібрати кадри, знайти інвесторів і партнерів, тобто він повинен здійснити одночасний вибір з кількох множин взаємопов'язаних альтернатив. Крім того, обрані альтернативні рішення можуть пред'являти певні вимоги до самого підприємця. Подібні завдання не вписуються в традиційні постановки завдань прийняття рішень, де зазвичай розглядається одна кінцева множина альтернативних рішень, елементи якої вважаються незалежними один від одного. Колективний вибір із взаємними вимогами учасників включає завдання синтезу варіантів можливих рішень, кожне з яких представляє собою комбінацію альтернативних рішень з різних множин, і подальшу багатокритеріальну оцінку отриманих їх варіантів.

Проаналізуємо приклад підходу до вирішення проблеми колективного вибору рішень у ІВС з урахуванням взаємних вимог сторін, яка є типовою для завдань проектування і вдосконалення систем. Нехай підприємство-виробник транспортних засобів (X_1) випускає для них віброзахисні пристрої (ВЗП). В умовах тривалої кризи попит на готову продукцію невеликий, в зв'язку з чим виникає проблема модернізації виробництва і освоєння випуску продукції, що має попит на ринку. Маркетингові дослідження виявили сукупність підприємств-споживачів (X_2), готових купувати ВЗП для транспортних засобів, які вони виробляють або збирають. При цьому визначено інтерес споживачів до ВЗП. Для задоволення запитів споживачів необхідне залучення інвесторів (X_3) і придбання відповідних технологій (X_4), які дозволяють випускати необхідні ВЗП (X_5). При вирішенні питання про модернізацію виробництва слід враховувати характеристики інфраструктури підприємства (X_6) і позиції місцевої влади (X_7). Сукупність учасників процесу прийняття

рішень характеризує вектор $X = \{X_1, X_2, \dots, X_7\}$, який включає сім об'єктів, кожен з яких є також множиною:

$$\begin{aligned}
 X_1 &= \{x_1\} - \text{виробники ВЗП;} \\
 X_2 &= \{x_{21}, x_{22}, x_{23}\} - \text{споживачі ВЗП;} \\
 X_3 &= \{x_{31}, x_{32}, x_{33}\} - \text{інвестори;} \\
 X_4 &= \{x_{41}, x_{42}, x_{43}, x_{44}\} - \text{технології виробництва ВЗП;} \\
 X_5 &= \{x_{51}, x_{52}, x_{53}\} - \text{типи ВЗП;} \\
 X_6 &= \{x_6\} - \text{інфраструктура підприємства;} \\
 X_7 &= \{x_7\} - \text{місцева влада.}
 \end{aligned} \tag{8.1}$$

Кожен елемент з множин X_i , $i = 1, \dots, 7$, описується набором властивостей $P_{xi} = \{P_{xij}\}$ і набором вимог $R_{xi} = \{R_{xik}\}$, які він може пред'являти до інших учасників процесу прийняття рішень. Головна мета – знайти рішення, найбільш прийнятне для всіх учасників, тобто знайти оптимальну в певному сенсі комбінацію з елементів множин X_i .

Граф завдання колективного вибору прийняття рішень наведено на рис.8.1, де дуги показують напрямки вимог учасників.

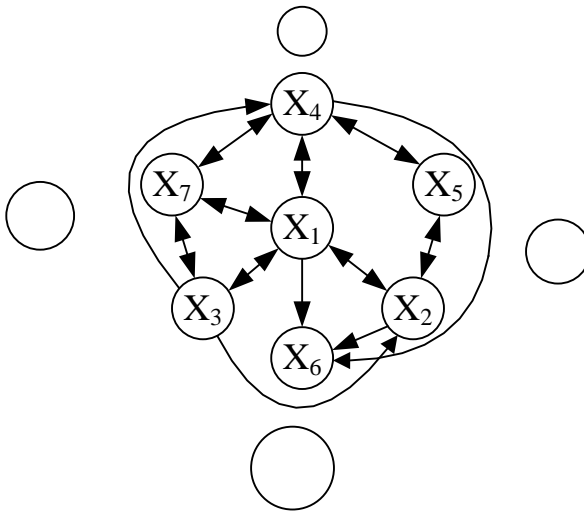


Рисунок 8.1 – Граф завдання колективного прийняття рішень в інтелектуальній системі

У завданні бере участь одне підприємство-виробник, яке є організатором і головною дійовою особою процесу прийняття рішень. Множини X_6 і X_7 також є одноелементними. Множина споживачів продукції X_2 включає три елементи, при цьому x_{21} позначає самого виробника, а x_{22} і x_{23} відповідають множинам зовнішніх споживачів. Елементи множини X_3 – можливі інвестори, x_{31} і x_{32} – зовнішні інвестори, x_{33} – сам виробник, який здійснює часткове інвестування.

У завданні розглядаються чотири доступних для придбання технології виробництва ВЗП (елементи множини X_4). При цьому технологія X_4 вже є у виробника і використовується для випуску ВЗП. Елементами множини X_5 є типи ВЗП, які можна було б виробляти. Серед них x_{51} – пневматичні ресори; x_{52} – пружинні ресори; x_{53} – керовані (активні) ВЗП.

Інформація про властивості і вимоги до розглянутих об'єктів, кожен з яких є учасником процесу вибору, може бути представлена лінгвістичними або кількісними оцінками. Лінгвістичним оцінкам можуть відповідати або дескриптори, або нечіткі множини. Вимоги можуть формулюватися у вигляді рівностей або нерівностей:

$$P_{xilk} = R_{ximk} ; P_{xilk} \leq R_{xjmk} ; P_{xilk} \geq R_{xjmk} ; R_{xjmk}^{\min} \leq P_{xilk} \leq R_{xjmk}^{\max} , \quad (8.2)$$

де k – індекс відповідного критерію, за яким проводиться порівняння властивостей з вимогами; i – індекс обраного об'єкта з множини X_i ; m – індекс вибирає об'єкта з множини X_j .

Для кожного з множини X_j та X_i можливо впорядкувати на основі узагальненої міри схожості множини вимог R_{xj} з властивостями конкретних об'єктів P_{xi} . У свою чергу, кожен з об'єктів множини X_j може пред'являти певні вимоги до об'єктів з множини X_i .

Структура графа взаємних вимог описується матрицею B , в кожному рядку якої ненульові елементи показують наявність вимог, що пред'являються відповідним учасником до решти суб'єктам вибору. Число пропонованих вимог може відрізнятись у конкретних представників кожної множини, але не може перевищувати кількості властивостей суб'єкта, від якого вимагається задоволення цим вимогам.

$$B = \begin{matrix} & X_1 & X_2 & X_3 & X_4 & X_5 & X_6 & X_7 \\ \begin{matrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \\ X_5 \\ X_6 \\ X_7 \end{matrix} & \left| \begin{array}{ccccccc} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right. & \end{matrix} . \quad (8.3)$$

Ступінь задоволення вимоги суб'єкта A до k -ої властивості об'єкта (суб'єкта) B відображає міра подібності $S_k(R_{Ak}, P_{Bk})$, спосіб обчислення якої залежить від подання інформації про властивості і вимоги.

Для вимог у вигляді рівності і властивостей, виражених кількісними оцінками, міру подібності можна обчислити за формулами:

$$S_k(R_{Ak}, P_{Bk}) = \frac{2 \min(R_{Ak}, P_{Bk})}{R_{Ak} + P_{Bk}} ; S_k(R_{Ak}, P_{Bk}) = \frac{\min(R_{Ak}, P_{Bk})}{\max(R_{Ak}, P_{Bk})} , \quad (8.4)$$

Міра подібності дорівнює одиниці, якщо $R_{Ak} = P_{Bk}$, і зменшується зі збільшенням різниці значень R_{Ak} і P_{Bk} . При лінгвістичному описі властивостей символічні рядки або збігаються, або ні, при цьому схожість з k -им критерієм оцінюється по двобальній шкалі [1,0]:

$$S_k(R_{Ak}, P_{Bk}) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } R_{Ak} \cap P_{Bk} \neq \emptyset; \\ 0, & \text{якщо } R_{Ak} \cup P_{Bk} = \emptyset. \end{cases} \quad (8.5)$$

Якщо R_{Ak} і P_{Bk} є нечіткі множини, відповідні лінгвістичним оцінками, скалярний індекс подібності можна обчислити за формулою Жаккара [22]:

$$S_k(R_{Ak}, P_{Bk}) = \frac{|R_{Ak} \cap P_{Bk}|}{|R_{Ak} \cup P_{Bk}|}, \quad (8.6)$$

де операція $|X|$ позначає скалярну потужність нечіткої множини X , заданої на базовій множині U : $|X| = \sum_{u \in U} \mu_X(u)$.

Індекс подібності $S(A,B)$ нечітких множин A і B має наступні властивості:

- $S(A,B) = 1$, тоді і тільки тоді, коли симетрична різниця нечітких множин $A \Delta B = \emptyset$: тобто є порожньою;
- якщо носії нечітких множин A і B не перетинаються, то $S(A,B) = 0$;
- $S(A,B) = S(B,A)$.

Ступінь задоволення вимог, сформульованих у вигляді нерівностей виду $P_{Bk} \leq R_{Ak}$ або $P_{Bk} \geq R_{Ak}$ відображається за допомогою заходів включення, які для кількісних оцінок можна обчислити за формулами:

$$I_k(P_{Bk}, R_{Ak}) = \frac{\min(P_{Bk}, R_{Ak})}{P_{Bk}}; \quad (8.7)$$

або

$$I_k(R_{Ak}, P_{Bk}) = \frac{\min(P_{Bk}, R_{Ak})}{R_{Ak}}. \quad (8.8)$$

Якщо зазначена вимога задовольняється, то значення заходів включення дорівнює 1. В іншому випадку $0 < I_k(P_{Bk}, R_{Ak}) < 1$, тобто передбачається, що значення P_{Bk}, R_{Ak} є позитивними. Недоліком такого заходу є її нездатність відобразити ступінь задоволення вимог при дотримання умов $P_{Bk} \leq R_{Ak}$ або $P_{Bk} \geq R_{Ak}$. При дескриптивному описі оцінка $S_k(R_{Ak}, P_{Bk})$ не відрізняється від випадку рівності. Якщо вимоги і

властивості представлені нечіткими множинами, то можна використовувати скалярні індекси і включення нечіткої множини:

$$- P_{Bk} \text{ в } R_{Ak} : I_k(P_{Bk}, R_{Ak}) = \frac{|R_{Ak} \cap P_{Bk}|}{|P_{Bk}|}; \quad (8.9)$$

$$- R_{Ak} \text{ в } P_{Bk} : I_k(R_{Ak}, P_{Bk}) = \frac{|R_{Ak} \cap P_{Bk}|}{|R_{Ak}|}; \quad (8.10)$$

Ці індекси мають наступні властивості:

– індекс включення нечіткої множини A в B $I(A, B) = 1$ тоді і тільки тоді, коли $A \cap B = 0$;

– якщо носії нечітких множин A і B не перетинаються, то $I(A, B) = 0$.

У випадку вимог завдання у вигляді інтервалу $R_{Ak}^{\min} \leq P_{Bk} \leq R_{Ak}^{\max}$, то для кількісних оцінок можна використовувати міру часткового збігу:

$$PM_k(R_{Ak}, P_{Bk}) = \min\left(\frac{\min(P_{Bk}, R_{Ak}^{\max})}{P_{Bk}}, \frac{\min(P_{Bk}, R_{Ak}^{\min})}{R_{Ak}^{\min}}\right). \quad (8.11)$$

При значенні $PM_k(R_{Ak}, P_{Bk}) = 1$, властивості об'єкта B повністю задовольняють вимогам суб'єкта A . Для нечітких оцінок використовується скалярний індекс часткового збігу:

$$PM_k(R_{Ak}, P_{Bk}) = \min\left(\frac{|R_{Ak}^{\min} \cap P_{Bk}|}{|R_{Ak}^{\min}|}, \frac{|R_{Ak}^{\min} \cap P_{Bk}|}{|P_{Bk}|}\right). \quad (8.12)$$

який володіє властивостями:

– $PM(A, B) = 0$, тоді і тільки тоді, коли $A \cap B = 0$;

– умова $PM(A, B) = 1$, нерівносильна вимозі суворого включення.

При дескриптивних описах властивостей і вимог застосовується стандартна оцінка на збіг. Формування інтегральної оцінки ступеня задоволення взаємних вимог для кожної пари учасників процесу вибору є двоетапна процедура, яка може виконуватися різними способами в залежності від використовуваних принципів оптимальності. Один з етапів пов'язаний з обчисленням узагальненої оцінки задоволення множиною вимог кожного об'єкта. Другий етап полягає вже в побудові оцінки ступеня взаємного задоволення вимог. Для формування узагальнених оцінок в роботі [6] запропоновано функції, що відображають різні способи досягнення компромісу при багатьох критеріях і учасників процесу вибору.

При цьому аддитивна функція вибору має вигляд:

$$F_1 = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{K_l} \sum_{k=1}^{K_l} S_k(R_{Ak}, P_{Bk}) + \frac{1}{K_z} \sum_{k=1}^{K_z} S_k(R_{Bk}, P_{Ak}) \right], \quad (8.13)$$

де K_l – кількість вимог, що пред'являються суб'єктом A до B ; K_z – число вимог B до A .

Зважена адитивна функція має вигляд:

$$F_2 = \alpha_A \sum_{k=1}^{K_l} \omega_k S_k(R_{Ak}, P_{Bk}) + \alpha_B \sum_{k=1}^{K_z} \nu_k S_k(R_{Bk}, P_{Ak}), \quad (8.14)$$

де ω_k і ν_k – нормовані вагові коефіцієнти вимог суб'єктів A і B відповідно; α_A, α_B – вагові коефіцієнти впливовості суб'єктів вибору.

Адитивні функції F_1 і F_2 реалізують принцип рівномірної оптимальності, який застосовується як для згортки множини вимог кожного учасника, так і для обчислення оцінки в парі. Операція підсумовування допускає можливість компенсації низьких значень високими, що може привести до вибору такої пари, в якій вимоги одного типу враховані повністю, а вимоги іншого – проігноровані. Головною перевагою адитивних функцій є висока ймовірність отримання непорожнього вибору, який відповідає виконанню умов $(\exists d)F_1(d) \neq 0$ або $(\exists d)2(d) \neq 0, d \in D, D = AxB$.

Мультиплікативні функції, що реалізують принцип справедливого компромісу мають вигляд:

$$F_3 = \prod_{k=1}^{K_l} S_k(R_{Ak}, P_{Bk}) \prod_{k=1}^{K_z} S_k(R_{Bk}, P_{Ak}); \quad (8.15)$$

$$F_4 = \left[\prod_{k=1}^{K_z} S_k^{\omega_k}(R_{Bk}, P_{Ak}) \right]^{\alpha_A} \left[\prod_{k=1}^{K_l} S_k^{\nu_k}(R_{Bk}, P_{Ak}) \right]^{\alpha_B}. \quad (8.16)$$

На відміну від адитивних ці функції не допускають взаємної компенсації оцінок. Недоліком мультиплікативних цільових функцій є вельми висока ймовірність порожнього вибору, оскільки навіть при одному незадоволеній вимозі значення функції узагальненої оцінки звертається в нуль. Поєднання різних принципів компромісу в одній функції, як правило, дає найбільш прийнятний результат [6].

Адитивно-мультиплікативна функція має наступний вигляд:

$$F_5 = \frac{1}{K_l K_z} \sum_{k=1}^{K_l} \omega_k S_k(R_{Ak}, P_{Bk}) \sum_{k=1}^{K_z} \nu_k S_k(R_{Bk}, P_{Ak}). \quad (8.17)$$

Ця функція допускає компенсацію оцінок ступеня задоволення вимог одного суб'єкта, але не допускає компенсації оцінок в парі суб'єктів. Зважена адитивно-мультиплікативна функція у порівнянні з попередньою функцією дорівнює:

$$F_6 = \left[\prod_{k=1}^{K_A} \omega_k S_k(R_{A_k}, P_{B_k}) \right]^{\alpha_A} \left[\prod_{k=1}^{K_B} v_k S_k(R_{B_k}, P_{A_k}) \right]^{\alpha_B}. \quad (8.18)$$

При використанні зазначених функцій вибір може виявитися порожнім тільки в тому випадку, якщо вимоги однієї зі сторін повністю не задоволені.

Узагальнення завдань взаємного вибору на множині учасників $X = \{X_1, X_2, \dots, X_N\}$ пов'язано з пошуком такої комбінації суб'єктів з множин $X_i, i = 1, \dots, \bar{N}$, вимоги яких задовольняються щонайкраще. Значимо, що комбінація передбачає максимальне значення узагальненої оцінки ступеня задоволення взаємних вимог суб'єктів. Функції для обчислення узагальненого ступеня задоволення вимог на основі різних принципів компромісу: максимальної ефективності, максимальної рівності учасників вибору, комбінований "ефективність-рівність". Аналогічне відображення принципу максимальної ефективності має вигляд:

$$G_1(d) = \max_{d \in D} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N v_j \sum_{k=1}^{K_i} \omega_{jk} S_k(R_{X_j^m k}, P_{X_i^k k}); \quad (8.19)$$

$$G_2(d) = \max_{d \in D} \prod_{j=1}^N \prod_{i=1}^N \left[\prod_{k=1}^{K_i} S_k^{\omega_{jk}}(R_{X_j^m k}, P_{X_i^k k}) \right]^{v_j}; \quad (8.20)$$

$$G_3(d) = \max_{d \in D} \prod_{j=1}^N \prod_{i=1}^N \left[\prod_{k=1}^{K_i} \omega_{jk} S_k(R_{X_j^m k}, P_{X_i^k k}) \right]^{v_j}, \quad (8.21)$$

де $D = x_1 \times x_2 \dots x_n$; d – коротке з N -арного відношення D ; k – індекс вимог; ω_{jk} – вага k -ої вимоги j -го суб'єкта; v_j – ваговий коефіцієнт j -го суб'єкта; k_i – число властивостей i -го суб'єкта; m, l – індекс елементів з множин x_j і x_i ; $S_k(R_{X_j^m k}, P_{X_i^k k})$ – міра схожості k -ої вимоги учасника x_j^m з відповідною властивістю суб'єкта (об'єкта) x_i^k . Дані, що стосуються властивостей і вимог до виробника ВЗП (X_1), наведені в табл. 8.1.

Таблиця 8.1 – Властивості і вимоги до виробника ВЗП X_1

Елементи суб'єкта	Економічний потенціал $P_1(X_1)$	Кваліфікація кадрів $P_2(X_2)$	Технічний потенціал $P_3(X_3)$	Репутація $P_4(X_4)$	Виробнича потужність $P_5(X_5)$
X_1	Середній	Висока	Середній	Середня	1500
Суб'єкт	Вимоги до виробників				
	$R_1(x_{ij}, X_1)$	$R_2(x_{ij}, X_1)$	$R_3(x_{ij}, X_1)$	$R_4(x_{ij}, X_1)$	$R_5(x_{ij}, X_1)$
x_{21}	–	–	–	–	300...500
x_{22}	–	–	–	Висока	500
x_{23}	–	–	–	Висока	1000
x_{31}	Не нижче середнього	Висока	Не нижче середнього	Висока	Не менше 1000
x_{32}	Високий	Висока	Не нижче середнього	Не нижче середнього	Не менше 500
x_{33}	–	–	–	–	–
x_{41}	Не нижче середнього	Не нижче середньої	–	–	–
x_{42}	Не нижче середнього	Висока	–	–	–
x_{43}	Високий	Висока	–	–	–
x_{44}	Не нижче середнього	Висока	–	–	–
x_7	Не нижче середнього	–	–	Не нижче середнього	–

Дані, що стосуються властивостей споживачів ВЗП і вимог до них наведені в X_2 табл. 8.2.

Таблиця 8.2 – Властивості споживачів ВЗП і вимоги до них X_2

Елементи суб'єкта	Потреба у ВЗП $P_1(x_{2j})$	Можливість оплати продукції $P_2(x_{2j})$	Репутація $P_3(x_{2j})$	Умови експлуатації		
				Небезпека механічних пошкоджень $P_4(x_{2j})$	Простір для розміщення $P_5(x_{2j})$	Можливість корозії $P_6(x_{2j})$
1	2	3	4	5	6	7
x_{21}	300	Середня	Висока	Є	Великий	Висока
x_{22}	1000	Середня	Середня	Немає	Середній	Висока
x_{23}	500...1500	Висока	Низька	Є	Малий	Низька

1	2	3	4	5	6	7
Елементи суб'єкта	Вимоги до споживача ВЗП					
	$R_1(x_{ij}, X_2)$	$R_2(x_{ij}, X_2)$	$R_3(x_{ij}, X_2)$	$R_4(x_{ij}, X_2)$	$R_5(x_{ij}, X_2)$	$R_1(x_{ij}, X_2)$
x	300...1500	Не нижче середнього	Не нижче середнього			
x_{31}	Не менше 500	Не нижче середнього	Не нижче середнього	–	–	–
x_{32}	Не менше 500	Висока	Не нижче середнього	–	–	–
x_{33}	Не менше 500	Не нижче середнього	Не нижче середнього	–	–	–
x_{51}	–	–	–	Потребує захисту	Середній	Не потребує захисту
x_{52}	–	–	–	Не потребує захисту	Великий	Потребує захисту
x_{53}	–	–	–	Не потребує захисту	Малий	Потребує захисту

Дані властивостей і вимог до інвесторів X_3 наведені в табл. 8.3.

Таблиця 8.3 – Властивості і вимоги до інвесторів X_3

Елементи суб'єкта	Об'єм інвестицій $P_1(x_{3j})$	Відсоткова ставка $P_2(x_{3j})$	Репутація $P_3(x_{3j})$
x_{31}	$2 \cdot 10^6$	40	Висока
x_{32}	$5 \cdot 10^6$	60	Низька
x_{33}	$1 \cdot 10^6$	–	Висока
Суб'єкт	Вимоги до інвесторів		
	$R_1(x_{ij}, X_3)$	$R_2(x_{ij}, X_3)$	$R_3(x_{ij}, X_3)$
X_1	Не менше $1 \cdot 10^6$	Не вище 40	Не нижча середньої
X_7	–	Не вище 50	Висока

Дані властивостей технологій виробництва ВЗП і вимог до них X_4 наведено в табл. 8.4.

Таблиця 8.4 – Властивості технологій виробництва ВЗП і вимоги до них X_4

Елементи суб'єкта	Вартість $P_1(x_{4j})$	Екологічність $P_2(x_{4j})$	Термін освоєння $P_3(x_{4j})$	Вартість матеріалів в $P_4(x_{4j})$	Енергоємність $P_5(x_{4j})$	Тип ВЗП $P_6(x_{4j})$	Доступність матеріалів в $P_7(x_{4j})$
x_{41}	0	Висока	0	Низька	Середня	Пружинні	Висока
x_{42}	$3 \cdot 10^6$	Висока	1 год.	Середня	Висока	Пневматичні	Середня
x_{43}	$8 \cdot 10^6$	Висока	1.5 год.	Висока	Низька	Активні	Низька
x_{44}	$1.5 \cdot 10^6$	Середня	0.5 год.	Середня	Середня	Пневматичні	Висока
Суб'єкт та елементи суб'єктів	Вимоги до технологій						
	$R_1(x_{ij}, X_4)$	$R_2(x_{ij}, X_4)$	$R_3(x_{ij}, X_4)$	$R_4(x_{ij}, X_4)$	$R_5(x_{ij}, X_4)$	$R_6(x_{ij}, X_4)$	$R_7(x_{ij}, X_4)$
X_1	Не більше $5 \cdot 10^6$	Не гірше	Не більше 1 року	Не вища середньої	Не вища середньої	–	Не нижча середньої
x_{31}	Не більше $2 \cdot 10^6$	Середня	Не більше 1 року	–	–	–	–
x_{32}	Не більше $5 \cdot 10^6$	Висока	Не більше 1 року	–	–	–	–
x_{33}	–	–	Не більше 1 року	–	–	–	–
x_{51}	–	–	–	–	–	Пневматичні	–
x_{52}	–	–	–	–	–	Пружинні	–
x_{53}	–	–	–	–	–	Активні	–
X_7	–	Висока	–	–	–	–	–

Дані, що стосуються властивостей і вимог до ВЗП X_5 , наведені в табл.8.5

Таблиця 8.5 – Властивості і вимоги до ВЗП X_5

Суб'єкт	Якість виробництва $P_1(x_{5j})$	Надійність $P_2(x_{5j})$	Вартість $P_3(x_{5j})$	Компоненти і властивості $P_4(x_{5j})$	Принцип дій $P_5(x_{5j})$	Орієнтація $P_6(x_{5j})$	Різні частоти $P_7(x_{5j})$
1	2	3	4	5	6	7	8
x_{51}	Висока	Середня	Середня	Середні	Пневматичні	Середня	Вузкий спектр
x_{52}	Середня	Висока	Низька	Низькі	Пружинні	Середня	Одна частота
x_{53}	Висока	Висока	Висока	Високі	Активні	Висока	Широкий спектр
Суб'єкт	Вимоги до ВЗП						

продовження таблиці 8.5

1	$R_1(x_{ij}, X_5)$	$R_1(x_{ij}, X_5)$	$R_1(x_{ij}, X_5)$	$R_1(x_{ij}, X_5)$	$R_1(x_{ij}, X_5)$	$R_1(x_{ij}, X_5)$	$R_1(x_{ij}, X_5)$
2	3	4	5	6	7	8	
x_{21}	Високі	Не нижчі середньої	Не вищі середньої	Не нижчі середньої	–	Не нижчі середньої	Одна і більше
x_{22}	Не нижчі середньої	Високі	Не нижчі середньої	Високі	–	Не нижчі середньої	Вузкий спектр
x_{23}	Високі	Високі	Високі	Високі	–	Високі	Широкий спектр
x_{41}	–	–	–	–	Пружинні	–	–
x_{42}	–	–	–	–	Пневмати чні	–	–
x_{43}	–	–	–	–	Активні	–	–
x_{44}	–	–	–	–	Пневмати чні	–	–

Дані властивостей і вимог інфраструктури X_6 , наведені в табл. 8.6.

Таблиця 8.6 – Властивості і вимоги інфраструктури X_6

Суб'єкт	Ціна електроенергії $P_2(X_6)$	Стан комунікацій $P_3(X_6)$	Транспортні сполучення $P_1(X_6)$
X_6	Висока	Хороший	Хороші
Суб'єкт та елементи суб'єктів	Вимоги до інфраструктури		
	$R_1(x_{ij}, X_6)$	$R_2(x_{ij}, X_6)$	$R_3(x_{ij}, X_6)$
X_1	Не вищі високої	Хороший	Хороші
x_{21}	–	–	–
x_{22}	–	–	Не гірші середнього
x_{23}	–	–	Не гірші хорошого
x_{41}	Не вищі високої	Хороший	Не гірші середнього
x_{42}	Не вищі середньої	Хороший	Не гірші середнього
x_{43}	–	Хороший	Не гірші хорошого
x_{44}	Не вищі високої	Хороший	Не гірші хорошого

Дані властивостей і вимог до влади X_7 , наведені в табл. 8.7.

Таблиця 8.7 – Властивості і вимоги до влади X_7

Суб'єкт	Підтримка ЗМІ $P_1(X_7)$	Податкові пільги $P_2(X_7)$	Лобіювання інтересів $P_3(X_7)$
X_7	Якщо Репутація x_{ij} = Висока, то Висока, інакше Низька	Якщо економічний потенціал \geq Середнього і Технічний потенціал \geq Середнього, то надаються, інакше не надаються	Низьке
Суб'єкт та елементи суб'єктів	Вимоги до влади		
	$R_1(x_{ij}, X_7)$	$R_2(x_{ij}, X_7)$	$R_3(x_{ij}, X_7)$
X_1	–	Потрібні	–
x_{31}	Висока	–	–
x_{32}	Середня	–	Високе
x_{33}	Низька	Потрібні	–

Результати для 3С комбінацій наведено на рис.8.2.

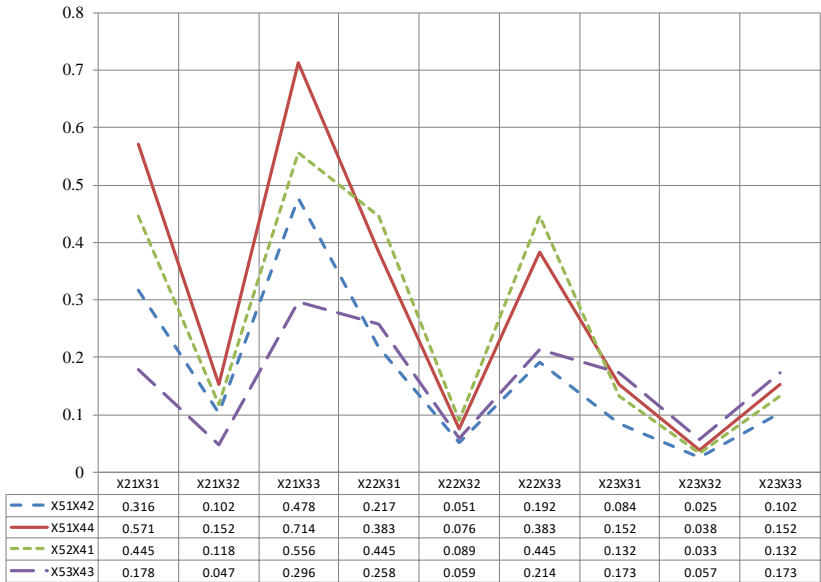


Рисунок 8.2 – Результати прийняття рішень у завданні колективного вибору

Для прийняття рішень ступінь узгодженості була рівною нулю, оскільки множини X_1 , X_6 і X_7 містять по одному елементу, які входять в усі комбінації. Вони не включені до наведених позначень. На графіках (рис. 8.2) добре видно, що в комбінаціях за участю інвестора x_{32} ступінь згоди всіх

сторін істотно нижче, ніж в комбінаціях з іншими інвесторами. Легко помітити, що невисокий ступінь згоди має місце в комбінаціях за участю споживача x_{23} .

Виявлено, що найбільш прийнятними партнерами для виробника будуть інвестор x_{31} і споживач x_{22} . Для власного споживання x_{21} бажано проводити пневматичні ресори за технологією x_{44} , на другому місці за погодженням вимог знаходяться пружинні ресори, на третьому – пневматичні підвіски, вироблена за технологією x_{42} , і на останньому місці – активні віброзахисні системи. Для споживача x_{22} кращим є пружинні ВЗП, з невеликим відставанням від неї слід пневматичні ВЗП за технологією x_{44} , потім активні ВЗП і пневматичні за технологією x_{42} . Цей результат відповідає сукупності вимог даного споживача (табл.8.5) і адитивного принципу згортки окремих вимог. Значно поступається за якістю віброзахисту інших альтернатив пружинні ВЗП, виходять на перше місце, оскільки споживач x_{22} не вимагає дуже високої якості віброізоляції і своєму розпорядженні з достатнім простором для розміщення ВЗП при компонованні підвіски транспортного засобу. У той же час для нього важливі надійність і низька вартість. Третій споживач віддає перевагу активним ВЗП, забезпеченим засобом управління, оскільки його вимоги до якості віброізоляції дуже високі (табл.8.5) і він має в своєму розпорядженні достатні фінансові ресурси, щоб заплатити високу ціну.

Отримані результати дозволяють рекомендувати виробнику придбати технологію x_{44} для виробництва пневматичних ВЗП і продовжувати виробляти пружинні ВЗП. При цьому має сенс орієнтуватися на кооперацію з інвестором і споживачем x_{22} . Варіанти за участю x_{21} і x_{33} , мають дуже хороші оцінки узгодженості, свідчать про те, що виробник є надійним споживачем своєї продукції і інвестором нового виробництва.

Аналіз результатів проміжних розрахунків ступеня згоди в формованих комбінаціях полегшує процес інтерпретації рішень. Наприклад, на рис.8.3 наведено результати розрахунку ступеня згоди в парах "споживач (X_2) – Тип ВЗП (X_5)".

Найвищі оцінки ступеня задоволення взаємних вимог для всіх споживачів має активні ВЗП, друге місце належить пневматичні ВЗП, а пружинні – останні.

Однак врахування вимог виробника і інвесторів до технології виробництва активних ВЗП x_{43} приводить надалі до істотного зниження узагальнених оцінок ступеня задоволення вимог для комбінацій, що містять альтернативи $x_{43}x_{43}$. Це пов'язано з високою вартістю технології. Найбільш прийнятними технологіями для учасників даного завдання колективного вибору є x_{41} і x_{44} . У зв'язку з цим кращими для виробництва стають пневматичні і пружинні системи віброзахисту. Такі системи мало підходять споживачеві x_{23} тому комбінації з його участю мають невисокий ступінь згоди взаємних вимог.

Низькі оцінки ступеня задоволення вимог в комбінаціях з інвестором x_{32} обумовлені його поганою репутацією і високою відсотковою ставкою. Це означає, що партнерство з x_{32} пов'язане з високим ризиком.

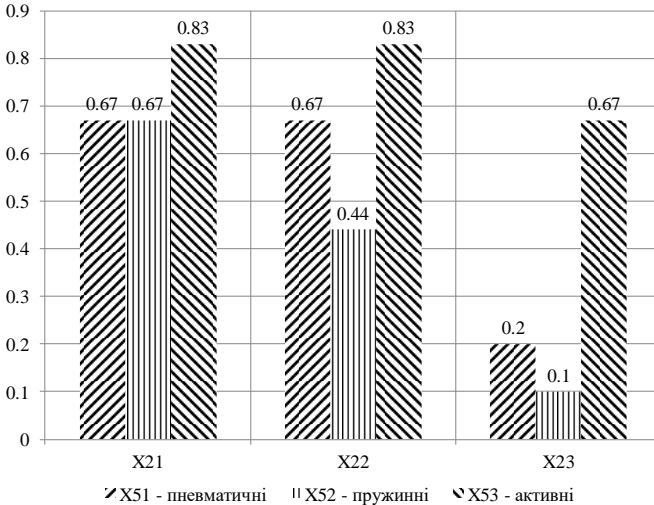


Рисунок 8.3 – Схожість взаємних вимог в комбінаціях "Споживач-Тип ВЗП"

У розглянутому завданні немає жодної комбінації, де задовольняються всі без винятку вимоги сторін. При жорсткому способі формування узагальної оцінки мультиплікативний критерій буде мати нульове значення. Використання вагових коефіцієнтів вимог і їх зміна в процесі пошуку компромісу може призводити до інших результатів. Так, ослаблення вимог, пов'язаних з вартістю технологій і матеріалів (що можливо при достатньому фінансуванні), призводить до збільшення ступеня згоди в комбінаціях, що включають активні ВЗП і технологію їх виробництва $x_{53}x_{43}$. Виробництво активних ВЗП стає краще, ніж виробництво пружинних, проте поступається пневматичним через низьку доступності матеріалів і тривалого терміну окупності, який важливий для виробника і інвесторів.

Описаний підхід до завдань колективного прийняття рішень із взаємними вимогами учасників дозволяє виявити конфлікти між вимогами суб'єктів вибору. На практиці часто зустрічаються ситуації з конфліктуючими вимогами, тому для їх вирішення в інтелектуальних системах мають бути передбачені засоби вирішення конфліктів. Зазвичай конфлікти вирішуються або шляхом взаємних поступок (зміни вимог), або шляхом зміни множини розглянутих рішень.

Для вирішення конфліктів між учасниками колективного вибору хороші перспективи мають методи МАС. Розглянемо роботу МАС "Колективний вибір" на прикладі завдання модернізації виробництва, граф якої показаний на рис.8.1. У цьому завданні виділено сім елементів-множин

X_1, X_2, \dots, X_7 , серед яких є одноелементні множини X_1, X_6, X_7 . Організатором та ініціатором процесу є виробник $X_1 = \{X_1\}$, який відповідає за координацію поведінки агентів в мультіагентній системі. Елемент $X_6 = \{x_6\}$ містить опис параметрів інфраструктури підприємства, можливості якої обмежені і тому представлені у вигляді вимог (що мають сенс обмежень) до інших суб'єктів вибору. Оскільки ці вимоги найчастіше не підлягають змінам, то суб'єкт X_6 не вимагає представлення у вигляді агента, хоча це можливо в разі потреби. У розглянутому завданні агентами представлені виробник X_1 , множини споживачів X_2 , інвесторів X_3 , власників технологій X_4 , повноважних представників місцевої влади X_7 . Інформація про варіанти продукції, яку можна було б виробляти X_5 , як і інформація про параметри інфраструктури, буде зберігатися в базі знань МАС, оскільки множини X_5 і X_6 мають статус об'єктів, а не активно діючих суб'єктів.

Виробник X_1 , виконуючий множник "ролей", представлений декількома агентами: агентом-виробником X_1 , агентом-споживачем x_{21} агентом-інвестором x_{33} і агентом-координатором процесу колективного вибору.

На першому етапі розв'язання завдання агент-координатор здійснює пошук потенційних учасників процесу вибору і розсилає їм повідомлення-запити про їх властивості та їх вимоги до інших учасників. На основі цієї інформації, а так само відомостей про можливості виробництва, видах продукції і параметрах інфраструктури заповнюється база знань агента-координатора і формуються множиною об'єктів і суб'єктів вибору.

Другий етап пов'язаний з попереднім розрахунком ступеня задоволення взаємних вимог у відповідності з алгоритмом. Попередній розрахунок дозволяє визначити учасників з непротивірчними вимогами і проаналізувати отримані варіанти з використанням спеціальних програм для оцінки ефективності отриманих варіантів виробництва. Слід зауважити, що на етапі попереднього розрахунку доцільним є послідовне застосування різних принципів компромісу, починаючи з самого "жорсткого" G_2 і закінчуючи самим "м'яким" G_1 . Між ними знаходиться комбінований принцип G_3 . Якщо результати попереднього розрахунку не виявили наявності конфліктів між учасниками і влаштовують користувача агента-координатора, то завдання можна вважати вирішеним. В іншому випадку здійснюється перехід до наступного етапу.

На третьому етапі агент-координатор здійснює спроби розв'язати конфлікти між суб'єктами вибору. Ця робота починається з виявлення конфліктів, вирішення яких є найбільш актуальним. Множина таких конфліктів формується на основі обчислених оцінок заходів подібності вимог з властивостями і впорядковується відповідно до вагових коефіцієнтів суб'єктів, а також важливістю їх вимог. В множині конфліктів заносяться оцінки заходів подібності, значення яких нижче заданого порогу Δ . Агент-координатор розсилає власникам відповідних вимог повідомлення, що містять пропозиції змінити конфлікуючі вимоги або їх вагові коефіцієнти в напрямку досягнення компромісу. Відповідні повідомлення агентів аналізуються, і в

разі позитивних змін проводиться повторний розрахунок (повернення на другий етап). Якщо ніхто з учасників не побажав внести зміни, то агент-координатор повідомляє про це своєму користувачеві, який може здійснити наступні заходи:

- повторно попросити суб'єкти про поступки, надавши їм можливість отримання компенсацій;
- змінити вагові коефіцієнти конкретних суб'єктів вибору;
- дати вказівку змінити склад множин суб'єктів вибору;
- змінити структуру завдання і/або інформацію в базі знань шляхом розширення простору можливих рішень;
- дати вказівку скорегувати інформацію про властивості суб'єктів вибору.

Відповідно до рішень свого користувача агент-координатор звертається із запитом до агентів суб'єктів вибору і обробляє їх відповідні повідомлення. При цьому здійснюються відповідні зміни інформації в базі знань.

Структура бази знань при прийнятті колективного рішення показана на рис. 8.4.



Рисунок 8.4 – Структура бази знань мультиагентної системи для підтримки процесів колективного вибору рішень

Зазначимо, що крім інформації про об'єкти, суб'єкти, їх властивості та вимоги в ній зберігаються граф взаємних вимог учасників процесу вибору, а також процедура обчислення результату. У процесі вирішення конфліктів у агентів запитується інформація про вимоги, виконання яких є обов'язковим. Такі вимоги забезпечуються спеціальними позначками і не можуть виключатися з подальшого розгляду. Інші вимоги можуть бути виключені, якщо це сприяє досягненню згоди. Компенсації представляють собою додаткові вимоги учасників, які вони можуть висувати, здійснюючи певні поступки по основним вимогам. Додаткові вимоги можуть ставитися до наявних в БЗ властивостями об'єктів і суб'єктів або викликати необхідність формування нових записів. Крім того, додаткові вимоги можуть бути пов'язані з виконанням умов, які неможливо уявити засобами суб'єктно-об'єктного опису проблеми. Наприклад, інвестор може знизити необхідну частку прибутку в обмін на зайве місце в раді директорів підприємства. Така інформація збирається керівником і враховується на неформальній основі.

Запропонований підхід пошуку компромісних рішень має наступні переваги:

- упорядкована процедура збору і обробки інформації;
- зменшення ймовірності маніпулювання інформацією, що одержана від агентів;
- використання різних принципів досягнення компромісу;
- поетапне наближення до консенсусу шляхом поступової зміни вимог сторін та їх пріоритетів;
- виявлення і усунення протиріч, що містяться у вихідній інформації;
- розгорнуте обґрунтування одержуваних рішень, яке дозволяє зрозуміти, чому і для кого прийняте рішення вважається найкращим.

8.5 Метод еволюційного синтезу станів інтелектуальних систем

Завдання проектування ІТС і ІВС полягає в створенні їх моделей, які будуть здатні виконувати покладені на них функції із заданим рівнем якості. Вимоги, що пред'являються до них, формуються, в метасистемі більш високого рівня, яка також є антропогенною розвиваючою системою. Вимоги до ІС, а також цілі, які більш низького рівня можуть змінюватися з плином часу. Завдання проектування і удосконалення ІС є динамічними завданнями прийняття рішень в умовах невизначеності, тому їм органічно притаманні багатоваріантність, багатокритеріальність, відкритість (постійний обмін інформацією з зовнішнім середовищем) і адаптивність (здатність змінювати свої властивості і структуру при зміні факторів зовнішнього середовища). Ефективне вирішення подібних завдань засноване на застосуванні принципів еволюційного проектування (рис. 8.5).

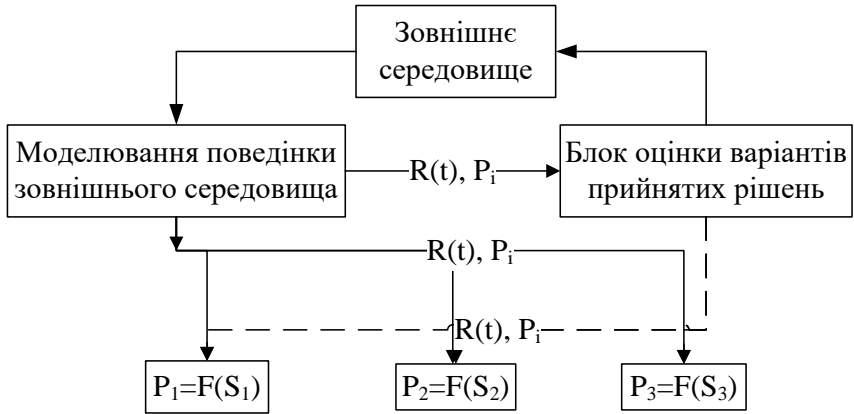


Рисунок 8.5 – Схема еволюційного проектування ІС

Інформація про зміни в метасистемі або зовнішньому середовищі використовується для моделювання їх поведінки. Результати моделювання дозволяють сформулювати вектор вимог до проектованої системи $R(t)$, які можуть змінюватися в часі. Завдання проектування складної системи відповідно до робіт [17, 50] полягає в синтезі варіантів її структури (S_1, S_2, S_3) і виборі варіанту, який характеризується сукупністю властивостей (P_1, P_2, P_3), найкращим чином задовольняють зовнішнім вимогам $R(t)$.

Еволюційний підхід до синтезу полягає в побудові цілісної системи з більш простих частин (підсистем) з позицій теорії розвитку, а саме: складна система синтезується з елементів під контролем факторів зовнішнього середовища. При цьому структура системи і склад елементів підбираються так, щоб забезпечити максимальне задоволення зовнішніх вимог. У процесі синтезу відбувається з'єднання елементів, результатом якого є більш об'єкти, що володіють новими властивостями і успадковують деякі властивості батьків об'єктів. З множини можливих комбінацій елементів на кожному кроці синтезу відбираються тільки ті, які мають високі шанси виживання у зовнішньому середовищі і не мають внутрішніх протиріч.

Для реалізації еволюційного синтезу ІС можна використовувати ідеї методу генетичних алгоритмів, що широко застосовуються для вирішення завдань оптимізації. Завдання синтезу складних ІС істотно відрізняються від оптимізаційних, оскільки для їх вирішення необхідна модифікація відомих генетичних алгоритмів. Це пов'язано з тим, що в синтезі складної ІС беруть участь об'єкти з різними структурами описів, в той час як в процесі оптимізації розглядаються об'єкти з ідентичними описами. Крім того, описи об'єктів синтезу являють собою набори структурованих даних різних типів. Тому в процесі синтезу виникає проблема формування структури описів проміжних станів, а також проблема вибору основних станів, оскільки кросингвер можливий тільки між певними їх видами, присутніми у

відтворенні. У відомих генетичних алгоритмах проблеми відбору початкових станів і формування описів проміжних станів успішно вирішуються з використанням механізмів випадкового вибору. У завданнях синтезу застосування випадкового відбору і комбінування стає обмеженим.

Розглянемо процедуру еволюційного синтезу ІС, яка складається з кількох етапів.

Етап 1. Створюється сукупність вихідних об'єктів синтезу, яка представляє собою множину альтернативних реалізацій функціональних підсистем (ФПС), що наділені певними властивостями і мають вимоги до свого оточення всередині системи. Формування множини ФПС здійснюється на основі функціонально-структурного або морфологічного аналізу систем розглянутого класу. Результат декомпозиції може являти собою сукупність ФПС (рис.8.6, а) або ієрархію таких множин (рис.8.6, б).

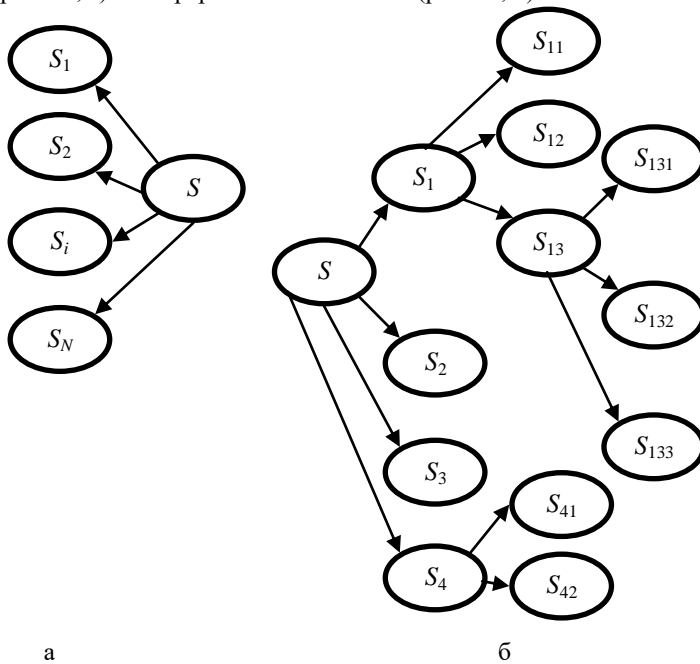


Рисунок 8.6 – Однорівнева (а) та ієрархічна (б) структури синтезуючих систем

Етап 2. Формулюється набір узагальнених вимог до синтезованої системи, що відображають її життєздатність або ефективність. Якщо структура системи задана ієрархією, то формулюються також вимоги до підсистем, які мають внутрішню будову (підсистеми S_1 , S_4 , S_{13}).

Етап 3. Формується функція цінності варіантів проєктованої системи, що дозволяє оцінювати ступінь відповідності згенерованих об'єктів заданому

набору зовнішніх вимог. При ієрархічному поданні задається набір таких функцій.

Етап 4. За допомогою генетичного оператора модифікування з об'єктів вихідної множини станів створюються нові об'єкти – представники наступних станів.

Етап 5. Обчислюються значення функції цінності отриманих варіантів і на їх основі проводиться відбір кращих представників з нової сукупності станів.

Етапи 4 і 5 можуть повторюватися неодноразово до виконання умови завершення процесу синтезу.

Паралельно до цього розглянемо уявлення знань, використовуваних в процесі еволюційного синтезу систем. Припустимо, що система S , синтезується за структурою задана графом (рис.8.6, а). Варіанти системи можуть містити не більше ніж N елементів S_i , $i = 1, \dots, N$. Набір інформації, використаної для синтезу, може включати різні характеристики, представлені сукупністю властивостей кожної підсистеми $P_{S_i} = \{y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{iK_i}\}$, де K_i – число властивостей i -ої підсистеми, $i = 1, \dots, N$. На відміну від традиційних бінарних ланцюжків елементів властивості ФПС можуть виражатися цілими або дійсними числами, а також символьними рядками. Крім набору властивостей кожна підсистема S_i описується набором вимог до її внутрішнього оточення (до інших елементів), $R_{S_i} = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iM_i}\}$; M_i – число вимог i -ої підсистеми до інших підсистем. Порядок взаємних вимог підсистем можна уявити за допомогою графа (рис. 8.7).

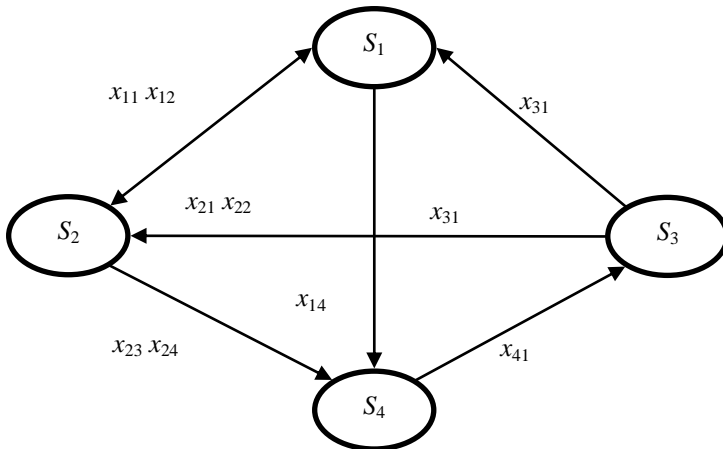


Рисунок 8.7 – Приклад графа взаємних вимог підсистем інтелектуальної систем

Елементи матриці B відповідають числу вимог, які пред'являє елемент, вказаний в рядку, до елемента, вказаного в стовпці:

$$B = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \end{matrix} & \left| \begin{array}{cccc} 0 & 2 & 0 & 1 \\ 2 & 0 & 0 & 2 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{array} \right| \end{matrix} . \quad (8.22)$$

Перший індекс будь-якої конкретної вимоги x_{ij} збігається з індексом підсистеми, яка її висуває, другий індекс є порядковим номером вимоги в списку вимог R_{S_i} . Граф вимог зберігається в матричному поданні B .

Важливим моментом є встановлення відповідності між властивостями ФПС і вимогами, які до неї пред'являються з боку інших підсистем. З цією метою заповнюються матриці відповідності для кожної підсистеми S_i . Ці матриці є проміжним поданням об'єктів синтезу, зручним для подальшої обробки. Матриця відповідності для ФПС S_i має вигляд:

$$C_1 = \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ \dots \\ S_N \\ X_1^* \end{matrix} \left| \begin{array}{cccc} Y_1 & Y_{12} & \dots & Y_{1K1}^* \\ X_{21} & X_{22} & \dots & - \\ - & X_{31} & \dots & - \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ - & - & - & - \\ X_{11}^* & X_{12}^* & \dots & X_{1K1}^* \end{array} \right| . \quad (8.23)$$

У першому рядку такої матриці записуються індекси властивостей розглянутої підсистеми, в інших $(N-1)$ рядках – індекси вимог, які інші підсистеми висувають до відповідних властивостей S_i . У матрицях відповідності можуть бути присутніми стовпці, в яких не записано жодної вимоги. Це означає, що дана властивість не впливає на сумісність елементів всередині системи. Це може бути характеристика якості підсистеми. У процесі синтезу для кожної матриці C_i створюється копія, в яку записуються конкретні значення вимог обраних альтернативних реалізацій A_{ij} . Останні рядки цих матриць служать для запису значень узагальнених вимог до j -ої властивості i -ої підсистеми x_{ij}^* з боку всіх інших елементів, які обчислюються після підстановки значень. Описи альтернативних реалізацій ФПС зручно представити за допомогою матриць-таблиць (8.24) такого вигляду:

$$\begin{array}{c}
 S_i \\
 A_{i1} \\
 P_i= A_{i2} \\
 \dots \\
 A_{iL_i}
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 Y_{i1} \quad Y_{i2} \quad \dots \quad Y_{iK_i} \\
 \begin{array}{|c|c|c|c|}
 \hline
 y_{11} & y_{21} & \dots & y_{K11} \\
 \hline
 y_{12} & y_{22} & \dots & y_{K12} \\
 \hline
 \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \hline
 y_{1L_i} & y_{2L_i} & \dots & y_{K1L_i} \\
 \hline
 \end{array}
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 S_i \\
 A_{i1} \\
 R_i= A_{i2} \\
 \dots \\
 A_{iL_i}
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 X_{i1} \quad X_{i2} \quad \dots \quad X_{iM_i} \\
 \begin{array}{|c|c|c|c|}
 \hline
 x_{11} & x_{21} & \dots & x_{K11} \\
 \hline
 x_{12} & x_{22} & \dots & x_{K12} \\
 \hline
 \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \hline
 x_{1L_i} & x_{2L_i} & \dots & x_{M1L_i} \\
 \hline
 \end{array}
 \end{array}
 \quad (8.24)$$

Таким чином, альтернативні реалізації кожної ФПС S_i описуються парою матриць-таблиць, в яких зберігаються конкретні значення властивостей y_{jk} і вимог x_{jk} . Значеннями властивостей є числа або текстові дані, значеннями вимог – рівності або нерівності. При такому поданні приймається допущення про те, що набори властивостей і вимог для всіх альтернативних реалізацій i -ої підсистеми мають однакові розмірності K_i , M_i . Загальна кількість властивостей або вимог підсистеми можна отримати шляхом об'єднання відповідних характеристик альтернативних реалізацій A_{i1} . При перевірці на задоволення вимогам конкретних альтернатив діють наступні правила:

- якщо альтернатива має властивість, до якого не пред'являється вимог, то результат перевірки вважається задовільним;
- якщо у альтернативі відсутня властивість, до якого пред'являються вимоги з боку інших підсистем, то результат перевірки вимог буде негативним.

Множина векторів властивостей $P_S = \{P_{S1}, P_{S2}, \dots, P_{SN}\}$ і вимог підсистем $R_S = \{R_{S1}, R_{S2}, \dots, R_{SN}\}$, набір матриць відповідності $C = \{C_1, C_2, \dots, C_N\}$, а також таблиці властивостей $P = \{P_1, P_2, \dots, P_N\}$ і вимог реалізацій ФПС $R = \{R_1, R_2, \dots, R_N\}$ складають сукупність вихідних даних еволюційного синтезу інтелектуальних систем.

Етапи 2 і 3 еволюційного синтезу пов'язані з побудовою функції цінності синтезованих варіантів, яка повинна відображати їх життєздатність. Для побудови такої функції необхідно сформулювати зовнішні вимоги до проєктованої системи $R_G = \{R_{G1}, R_{G2}, \dots, R_{GM}\}$, де M – кількість зовнішніх вимог. Ці вимоги зазвичай пов'язані з виконанням певного набору функцій і заданим рівнем якості системи в цілому. Вимоги до синтезованої системи можуть являти собою вирази, що включають операції $=$, \neq , $<$, \leq , $>$, \geq , \max , \min і ін. Операндами таких виразів є властивості цілісної системи $P_G = \{P_{G1}, P_{G2}, \dots, P_{GK}\}$, константи $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N\}$, що відображають специфіку вимог, а також імена і значення властивостей ФПС. У процесі синтезу необхідно сформувати вектор властивостей цілісної інтелектуальної системи P_G , який є функцією її структури (тобто властивостей елементів і зв'язків між ними), і встановити способи обчислення компонентів цього вектора на основі інформації про склад конкретних варіантів. Значення властивостей цілісної системи можна отримати різними способами.

Якщо використати морфологічний підхід до синтезу [5, 51] визначеної характеристики, то кількісні оцінки, отримують за допомогою адитивної або мультиплікативної згортки.

Логічний підхід до синтезу передбачає застосування формул логіки предикатів (правил) для формування характеристик цілісного об'єкта на основі властивостей елементів, що розширює можливості подання знань, але вимагає додаткової інформації.

Еволюційний підхід до синтезу допускає застосування різних способів отримання параметрів: це можуть бути математичні та алгоритмічні функції, логічні формули, правила, а також комбіноване уявлення. Вибір конкретного способу залежить від кількості і якості доступної інформації. При нестачі знань для обчислення параметрів можуть використовуватися адитивний або мультиплікативний узагальнений критерій. Процедура обчислення компонентів вектора властивостей P_G для варіанту системи V_q виглядає наступним чином:

$$\begin{aligned}
 P_{G1} &= Y_{11}; \\
 P_{G2} &= \max_{si \in V_q} (Y_{12}); \\
 P_{G3} &= \sum_{i=1}^N Y_{13}; \\
 (P_{G4} = \lambda_1) &\rightarrow (Y_{21} \leq \lambda_2) \wedge (Y_{31} = \lambda_3); \\
 (P_{GK} = \lambda_1) &\rightarrow S_4 = A_{43}; \\
 (P_{GK} = \lambda_9) &\rightarrow S_4 \neq A_{43} \\
 &\dots \dots \dots
 \end{aligned} \tag{8.25}$$

Останні три формули для обчислення інтегральних властивостей являють собою записи продукційних правил у вигляді фраз Хорна. При такій формі запису в лівій частині правила (до стрілки) записується висновок, а в правій – умова. Останнє правило слід інтерпретувати так: встановити значення властивості P_{GK} рівним λ_9 , якщо реалізацією ФПС S_4 не є A_{43} . Передостання запис передбачає присвоювання іншого значення властивості $P_{GK} = y_{53}$ в тому випадку, якщо в якості S_4 обрана реалізація A_{43} .

Після процедури отримання значень параметрів цілісної системи, значення функції цінності варіантів можна обчислити як узагальнену міру подібності вектора зовнішніх вимог R_G з властивостями конкретного варіанту $P_G(V_q)$. Значимо, що для побудови функції цінності застосовуються заходи подібності. Найпростіший спосіб формування інтегрального значення функції цінностей – це обчислення середнього арифметичного заходів задоволення всіх вимог для q -го варіанту інтелектуальної системи:

$$F_q = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K S(R_{Gi}, P_{Gi}^{(q)}), \tag{8.26}$$

де $S(R_{Gi}, P_{Gi}^{(q)})$ – міра схожості i -ї зовнішньої вимоги с відповідними властивостями q -го варіанта; K – кількість вимог.

Якщо вимоги мають різну значимість, вводяться вагові коефіцієнти $w = \{w_1, w_2, \dots, w_K\}$ і функція цінності набуває вигляду:

$$F_q = \sum_{i=1}^K w_i S(R_{Gi}, P_{Gi}^{(q)}); \quad \sum_{i=1}^K w_i = 1; \quad w_i \geq 0. \quad (8.27)$$

Якщо структура проектованої системи задана ієрархією (рис.8.6, б) то необхідно сформувати функції цінності для всіх підсистем, що мають складну внутрішню структуру.

Розглянемо процедуру з'єднання N елементів, що мають різні описи, яка відповідна оператору модифікування в генетичних методах пошуку оптимальних рішень. Зауважимо, що в даному випадку проміжок стану походить від N первісних станів. Відбір кандидатів для схрещування заснований на обчисленні ступеня задоволення взаємних вимог з'єднуються ФПС. Для кожного i -го елемента синтезованої системи обчислюється міра задоволення вимог інших елементів, які претендують увійти в комбінацію, відповідно до формулами:

$$G_{qi} = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K S(x_{ij}^*, y_{ij}), \quad (8.28)$$

або

$$G_{qi} = \sum_{j=1}^{K_i} w_j S(x_{ij}^*, y_{ij}), \quad (8.29)$$

де $S(x_{ij}^*, y_{ij})$ – міра подібності j -ої властивості i -ої ФПС з об'єднаним набором вимог до неї з боку інших елементів; w_j – нормовані вагові коефіцієнти вимог j -ої властивості i -ої ФПС.

Узагальнена оцінка ступеня задоволення взаємних вимог елементів в q -у варіанті системи обчислюється або як середньоарифметичне, або як середньогометричне в залежності від обраного принципу компромісу:

$$G_q = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N G_{qi}, \quad (8.30)$$

або

$$G_q = \left(\prod_{i=1}^N G_{qi} \right)^{\frac{1}{N}}. \quad (8.31)$$

Виявлено, що адитивна функція G_q приймає нульове значення тільки в тому випадку, якщо всі ФПС, що увійшли в q -й варіант, не задовольняють вимогам один одного. Мультиплікативна функція приймає нульове значення, коли в комбінацію входить хоча б один елемент, для якого $G_{qi} = 0$, тому вона

більш ефективна для пошуку варіантів з високим ступенем узгодження між учасниками ФПС. При використанні адитивної функції перевірку на наявність внутрішніх суперечностей слід проводити з використанням деякого порога Δ , $G_q > \Delta$. У зв'язку з цим, в разі застосування мультиплікативної функції, перевірка може виконуватися за умовою $G_q > 0$.

Таким чином, для будь-якого генерованого варіанту системи $V_q = \{A_{1i}, A_{2i}, A_{3i}, \dots, A_{Ni}\}$ обчислюється значення функції G_q і на його основі приймається рішення про можливість існування даної комбінації ФПС. Якщо рішення негативне, то не проводиться обчислення властивостей варіанту V_{qi} , тобто фактично він не породжується і не включається в нову сукупність. Для інших випадків формується опис отриманого варіанту. При цьому використовувати відповідна процедура виведення інтегральних властивостей. Це варіант він бере участь в подальшому відборі і здійснюється на основі значень функції F_q , яка відображає життєздатність цілісної системи у зовнішньому середовищі. При цьому, виконується модифікація N різнорідних об'єктів з урахуванням їх здатності до з'єднання. В даному випадку не відбувається ніякого обміну фрагментами елементів, як в генетичних алгоритмах, оскільки описи об'єктів є структурованими, різнорідними, і тому взаємний обмін фрагментами таких описів позбавлено будь-якого сенсу.

Залежно від обсягу знань про проектувану ІС і від її складності еволюційний синтез можна проводити в різній послідовності. У разі однорівневого уявлення алгоритм ІС синтезу включає наступні кроки:

1. Підготовлюється і вводиться вихідна інформація, що містить опис ФПС наборами властивостей і вимог, граф взаємних вимог ФПС і матриці відповідності вимог властивостями. У базі знань системи еволюційним синтезом розміщається процедура обчислення параметрів складових елементів. Користувач повинен сформулювати набір зовнішніх вимог до синтезованої системи.

2. Випадковим чином генерується варіант V_q з N реалізацій функціонал підсистем, обраних з відповідних множин. При невеликій потужності множин альтернативних реалізацій ФПС генерується множина всіх можливих варіантів цілісної системи шляхом повного перебору.

3. Обчислюються оцінки міри задоволення вимог для кожної підсистеми G_{qi} і узагальнена оцінка для варіанту G_q .

4. Якщо значення $G_q > \Delta$, то формується опис варіанту $V_q(P_{G1}, P_{G2}, \dots, P_{GM})$ з використанням заданої процедури обчислення властивостей цілісного об'єкта. Якщо $G_q < \Delta$, то варіант виключається з розгляду і відбувається його повернення на крок 2.

5. Обчислюється значення функції цінності для варіантів F_q , яке використовується для відбору життєздатних варіантів. Відбір може проводитися за умовою $F_q > \Delta$ або шляхом запам'ятовування заданого кількості варіантів з найкращими значеннями F_q .

6. Кроки 2-5 повторюються до тих пір, поки не буде виконана умова завершення синтезу. Синтез закінчується, коли значення F_q перестають поліпшуватися або при досягненні заданої кількості кроків.

В даному алгоритмі формується єдиний стан, членами якої є варіанти системи, отримані від N первісних станів. При великій кількості альтернативних реалізацій ФПС цей алгоритм може включати процедуру попереднього відбору первісних станів.

У наведеному алгоритмі не враховувалась наявність підсистем, здатних виконувати кілька функцій. При наявності таких підсистем варіанти проєктованої системи можуть містити число елементів $N_1 < N$. Набір виконуваних функцій включається в список властивостей об'єктів синтезу. Функції, що реалізуються цілісною системою, можуть відрізнитися від об'єднаного набору функцій, які виконують підсистеми. Тому в набір правил формування властивостей цілісної системи необхідно додати правила виведення її функцій [52].

Якщо різні ФПС здатні виконувати однакові функції, то в процесі синтезу слід встановити контроль за дублюванням функцій. У разі якщо дублювання функцій небажано, то генеруються тільки ненадлишкові (раціональні) варіанти системи, актуальні для завдань реінжинірингу. Функції можуть мати різний ступінь необхідності, тому в списку вимог до проєктованої системи відзначаються функції, виконання яких є обов'язковим. При наявності багатофункціональних ФПС в результаті схрещування породжується не один, а кілька варіантів, що відрізняються кількістю елементів. При цьому об'єкти синтезу замінюються схемами, в яких вільними змінними є не обов'язкові функції. Синтезовані об'єкти можна розглядати як схеми, в яких вільними змінними є ФПС, що реалізують не обов'язкові функції. Шляхом виключення таких елементів можна отримати L реалізацій q -ї схеми, які відповідають варіантам системи з числом елементів, меншим N . Для всіх таких варіантів обчислюється значення G_q , що характеризує сумісність елементів, і якщо $G_q > \Delta$, то породжуються описи нових об'єктів.

Наведений алгоритм синтезу заснований на одночасному модифікуванні N елементів і однокрокової процедурі породження наступних станів. Розглянемо механізм еволюційного синтезу, заснований на послідовному з'єднанні елементів. В цьому випадку в процесі синтезу беруть участь вихідна сукупність базових об'єктів і множина нащадків наступних об'єктів. Алгоритм послідовного синтезу включає наступні основні кроки:

1. Підготовка і введення початкової інформації.
2. Формування початкових множин об'єктів синтезу з використанням або без використання процедури попереднього відбору.
3. Утворення нових об'єктів, що включають по два елементи. Управління процесом з'єднання елементів здійснюється з використанням графа взаємних внутрішніх вимог. Два об'єкти з'єднуються, якщо між ними є зв'язок. У разі якщо граф вимог є незв'язним, вершини, що не мають зв'язків, беруть участь в синтезі на останньому етапі. Для завдань невеликої розмірності здійснюється синтез всіх комбінацій. При великій кількості елементів випадковим чином генерується сукупність станів обмеженого розміру.

4. Перевірка на збіг функцій, які виконуються елементами в отриманій комбінації. Якщо сукупність функцій, які виконуються одним елементом, є підмножиною функцій іншого, комбінація замінюється цим елементом, і управління передається на крок 7. В іншому випадку формується список функцій, що реалізуються новим об'єктом. Якщо є частковий збіг функцій, які виконуються з'єднуючими елементами, то дублюються функції відзначаються в списку.

5. Визначення ступеня задоволення вимог для кожної підсистеми G_{qi}^l , що входить в отриману комбінацію, і узагальненої оцінки G_q^l . Якщо значення $G_{qi}^l > 0$, то формується опис комбінації V_i^l шляхом об'єднання описів елементів. В опис також включаються індекси підсистем. Якщо $G_q^l = 0$, то комбінація виключається з розгляду і здійснюється повернення на крок 3.

6. Формування властивостей нового об'єкта з використанням заданих граматичних правил і набору його вимог до оточення шляхом об'єднання вимог "первісної сукупності станів".

7. Формування нової сукупності варіантів рішень, які пройшли перевірку на кроці 5. При цьому можливе застосування додаткової умови відбору на основі узагальненої оцінки за критеріями якості.

8. Перевірка на виконання вимог об'єктів нової популяції до внутрішнього оточення. Якщо не всі вимоги задоволені, то об'єкт бере участь в подальшому синтезі. Здійснюється перехід на крок 3, де відбувається пошук кандидатів для вибору рішень нової сукупності, керованих рішень невиконаними вимогами. В іншому випадку-перехід до наступного кроку.

9. Перевірка на повноту функцій, які повинна виконувати синтезуюча система. Якщо опис згенерованого варіанту містить всі задані функції, опис отриманого об'єкта включається в популяцію готових варіантів і здійснюється перехід на крок 12. В іншому випадку-перехід на наступний крок.

10. Повернення на крок 3, де генеруються нові об'єкти шляхом приєднання елементів вихідного стану до членів нового стану (процес управляється графом вимог).

11. Повторення кроків 3-10 до виконання умови закінчення синтезу системи. Такою умовою є завершення обходу графа вимог, включаючи окремі вершини.

12. Відбір варіантів з популяції цілісних систем, що проводиться на основі значень функції цінності F_q . Якщо $F_q > \Delta$, то опис варіанта V_q записується в файл результатів. У завданнях невеликої розмірності має сенс зробити повний перебір, інакше здійснюється випадковий відбір заданої кількості варіантів рішень з максимальними значеннями функції F_q .

Якщо структура синтезується і система задана ієрархією (рис. 8.6, б), то формується множина сукупностей станів, відповідних вершин графа, що має вихідні дуги. Оціночні функції для підсистем, що генеруються в таких

вузлах, можуть будуватися або на основі подібності заданих вимог з властивостями, або на основі узагальненої оцінки за критеріями якості. У будь-якому випадку необхідно сформулювати обчислювальні процедури для отримання параметрів підсистем, що мають складну внутрішню будову. Питання про спадкування властивостей в процесі еволюційного синтезу вирішується на етапі подання знань. При синтезі систем властивості складових елементів можуть успадковуватися, втрачатися або обчислюватися заданим способом. Застосування аналогів операцій модифікування, репродукції, інверсії і т.д. в процесах еволюційного проектування можливо в принципі, але на сьогоднішній день не представляється доцільним, оскільки важко знайти пояснення зміни властивостей об'єктів, з яких синтезується система, в процесі її проектування. Крім цього, реалізація згаданих операторів проблематична в зв'язку зі складністю подання інформації про об'єкти синтезу, а також може призвести до важко передбачуваних наслідків на етапі виведення властивостей цілісної системи і при інтерпретації результатів. Використання названих прийомів може мати певний сенс при формуванні та дослідженні множини об'єктів синтезу.

Метод еволюційного синтезу рішень можна застосувати, наприклад, для вирішення завдання. Це доцільно, якщо при проектуванні структури системи (рис. 8.1) існує велика кількість альтернативних реалізацій підсистем X_i . Необхідно сформулювати функцію цінності при генерації варіантів, яка буде відображати ефективність ІС в цілому. Зауважимо, що використання в якості функції цінності заходів подібності дозволяє оцінювати об'єкт, за множиною критеріїв якості без усереднення значень показників. Функції, на основі обраного принципу компромісу, обчислюють узагальнену міру близькості отриманого варіанту до заданого зовнішнім вимогам. Повною проблемою в цьому випадку є формування правил обчислення властивостей цілісної системи в процесі її синтезу з елементів. Інтегральними показниками якості проектованої ІС можуть служити оцінки прибутку, рентабельності, попиту і інші, які можна отримати на основі інформації, що характеризує конкретні реалізації ФПС: потужність виробництва $P_5(x_{1i})$, попит на конкретний вид продукції $P_1(x_{2i})$, обсяг можливих інвестицій $P_1(x_{3i})$ і процентна ставка $P_2(x_{3i})$, вартість технологій $P_1(x_{4i})$ у термін освоєння технологій $P_3(x_{4i})$, вартість матеріалів $P_4(x_{4i})$ і електроенергії $P_1(x_{6i})$ (табл. 8.1-8.7).

Застосування процедур еволюційного синтезу рішень істотно полегшує аналіз отриманих варіантів, оскільки вихідні результати роботи програми містять тільки сумісні варіанти, які мають найтісніший контакт заданим вимогам. Слід зазначити, що, на відміну від проектування технічних об'єктів, в завданні проектування транспортних і виробничих інтелектуальних систем допустимо і часто бажано побудова варіантів, що містять в своєму складі не по одній альтернативній реалізації ФПС. Подібна постановка завдання призводить до значного збільшення кількості можливих варіантів і викликає необхідність зміни процедур виведення властивостей цілісної системи з тим, щоб врахувати наявність багатоальтернативного ФПС. У таких випадках доцільно застосовувати двоетапну процедуру синтезу, що дозволяє знизити

розмірність вихідного завдання. На першому етапі проводиться синтез моноальтернативних варіантів проєктованої ІС і відбирається підмножина найкращих. Другий етап полягає в побудові варіантів багатоальтернативного ІС на основі множини структур, відібраних на першому етапі. При цьому використовується модифікована процедура виведення властивостей цілісної системи, в якій враховується наявність множини елементів, що належать до одного класу ФПС.

8.6 Метод синтезу сценаріїв функціонування складних інтелектуальних систем з точки зору логіки

Сценарний підхід до вирішення складних погано формалізованих завдань в ІТС і ІВС набуває все більшої популярності. Він активно використовується в системах динамічного і інтелектуального моделювання, а також як засіб представлення та структурування знань та інформації. Розглянемо один з можливих підходів до побудови сценаріїв в таких системах з використанням логіки предикатів як засобу представлення знань.

Рішення завдань ІС систем, що розвиваються вимагає побудови прогнозів можливих змін у зовнішньому середовищі. Існують два принципових підходи до прогнозування: прогнозування майбутнього на основі минулого та прогнозування майбутнього з урахуванням появи нових тенденцій і подій, які могли не мати місця в минулому. Прогнози, одержувані першим способом, зазвичай мають статистичне або теоретичне обґрунтування, однак вони не здатні описати нові ситуації. На відміну від них прогнози, пов'язані з генерацією гіпотез, не мають строгого обґрунтування, але дозволяють отримати уявлення про нові варіанти можливого майбутнього, що не зустрічалися в минулому.

Перший підхід широко використовується для прогнозування великомасштабних явищ, при описі яких зазвичай не виділяються активно і непередбачувано діючі суб'єкти. Другий підхід найчастіше застосовується для опису можливих варіантів поведінки ІС, що містять активних учасників, які, не маючи інформації про стратегії протидіючих сторін, змушені їх генерувати на основі доступних їм знань. Синтез сценаріїв є реалізацією другого підходу до прогнозування.

Під сценарієм будемо розуміти послідовність взаємодіючих подій, яка може мати місце при певних умовах. Між подіями існують причинно-наслідкові зв'язки, які можна уявити правилами, сформованими на мові логіки. Синтез сценарію здійснюється з використанням бази знань, що містить опис елементів сценарію і зв'язків між ними. Результатом синтезу є множина можливих сценаріїв, якість і достовірність яких залежать від вихідної інформації.

На першому етапі подання знань може виявитися корисним побудова когнітивної карти - математичної моделі, представленої у вигляді графа, що дозволяє описувати суб'єктивне сприйняття людиною або групою людей будь-якого складного об'єкта, проблеми або функціонування системи.

Когнітивна карта призначена для виявлення структури причинних зв'язків між елементами складного об'єкта і оцінки наслідків зовнішніх впливів на елементи і зв'язків між ними [35, 54]. Елементи представлені набором вершин графа, зв'язків – множини спрямованих дуг. Їм можна приписати знаки, у відповідності до характеру впливу. Графічне представлення у вигляді карти наочно показує зв'язки між елементами сценарію. Перебір всіх можливих шляхів на когнітивній карті дає кількість можливих сценаріїв. Слід зауважити, що для великої кількості знань граф може стати безмежним. У цьому випадку бажано вдатися до структуризації знань, виділяючи різні рівні опису інформації.

В якості базової моделі представлення знань для реалізації синтезу сценаріїв на основі причинно-наслідкових зв'язків може використовуватися логіка предикатів першого порядку. У простих випадках для представлення знань можна застосовувати логіку висловлювань. Синтез сценарію зводиться до побудови формальної граматики на певній множині термінальних і нетермінальних символів. Синтаксису логіки висловлювань відповідає контекстно-вільна граMATИКА, яка описується четвіркою множин $G = (V, T, P, S)$, де V – кінцева множина нетермінальних символів; T – кінцева множина термінальних символів, що не перехресні з V ; P – кінцева множина правил продукцій, записаних у вигляді нотацій Бекуса і представляють собою розшифровку нетермінальних символів граматики логічними виразами, що містять символи з T і V ; S – початковий символ граматики [18, 53].

Формальна граMATИКА являє собою набір логічних правил (синтаксису), які встановлюють способи поєднання слів і словосполучень (нетермінальних символів) для утворення більш складних виразів. Правила застосовуються рекурсивно і дозволяють породжувати множину фраз (логічних формул), що становлять певну мову. Продукцію формальних граMATИК можна інтерпретувати як логічну формалізацію правил граматики природної мови, а фрази – як підмножини множини логічних формул. Крім формалізації природних мов формальні граматики застосовуються для опису і розпізнавання мов програмування, зокрема, в програмах-компіляторах. Цей механізм можна також використовувати для генерації складних інтелектуальних систем, в т.ч. транспортних та виробничих.

Розглянемо застосування формалізму контекстно-вільних граMATИК для побудови мови, за допомогою якої можна описувати сценарії розвитку інтелектуальних транспортних або виробничих систем (рис. 8.8).

У процесі породження фраз на граматиці виникає проблема вибору послідовності застосування правил підстановки, оскільки при синтезі сценаріїв допускається наявність циклів подій і великих множин G і KV таких випадках необхідним компонентом програмного забезпечення є підсистема, що управляє процесом формування сценаріїв. При цьому стає необхідною класифікація подій і символів відповідно до можливості використання випадкового вибору, зі статусом активності суб'єкта (фактора), відносинами власності і причинності.

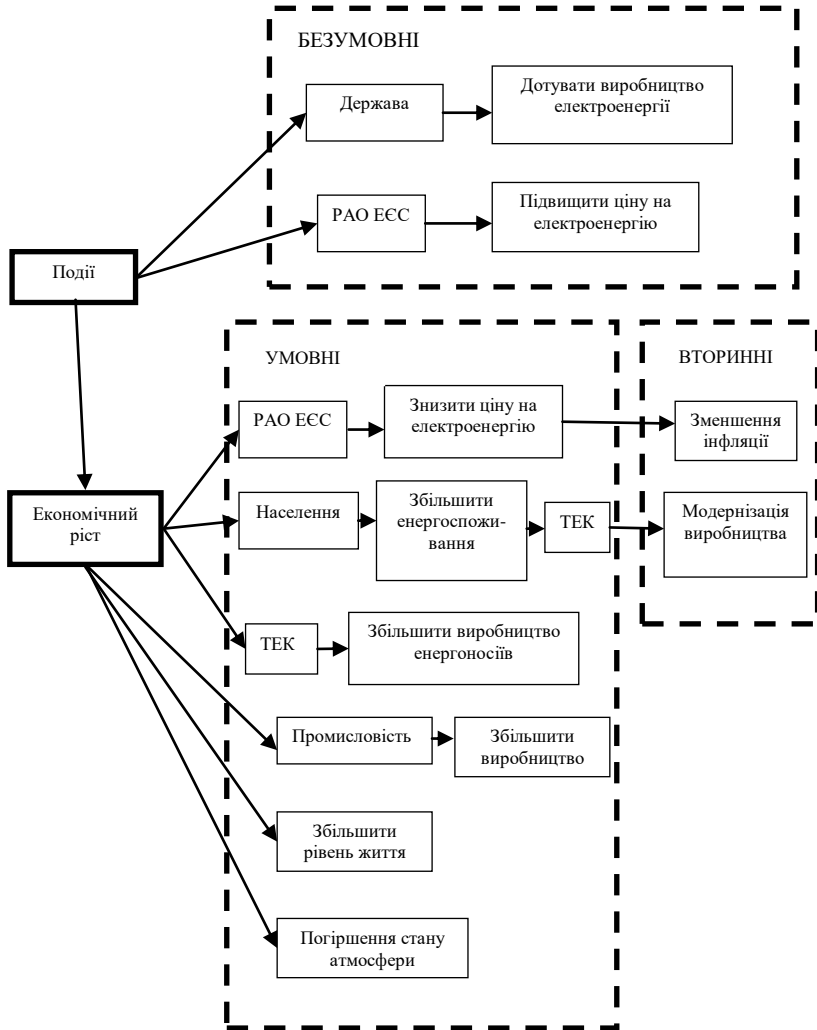


Рисунок 8.8 – Варіанти можливих подій в сценарії функціонування інтелектуальних систем транспортних або виробничих послуг

Використання багатомісних предикатів дозволяє краще відобразити специфіку знань предметної області ІС, оскільки з'являється можливість описати внутрішню структуру використовуваних категорій, враховувати контекст і зробити граматику більш компактною. Граматики з багатомісними предикатами є граматиками певних клауз, або контекстно-залежними граматиками [18, 55]. Застосування таких граматик для синтезу сценаріїв дозволяє представити елементи знань у вигляді описів, що містять набори параметрів, причому в процесі підстановки існує можливість узгодження значень цих параметрів.

Важливим питанням при синтезі сценаріїв є уявлення темпоральної інформації, тобто опис часу і атрибутів, що змінюються з плином часу. Багато подій мають певну тривалість, а їх наслідки можуть наступати з запізненням. На відміну від класичних моделей динамічних систем у вигляді систем диференціальних рівнянь, при моделюванні сценаріїв відбувається наближена імітація динамічних процесів, при якій важливий якісний характер залежностей і не висувається жорстких вимог до точності обчислень. Введення в розгляд часу необхідно також для вказівки паралельно протікаючих подій. При цьому використовується паралельно-часова граMATика, яка описується вектором $G = (V, T, P, S, Temp, F)$, де множина $Temp = \{t \in Temp\}$ складається з елементів, що характеризують час виконання дій, а множина $F = \{', \square\}$ відображає паралелізм подій. Апостроф в лівій частині правила означає початок паралельних процесів, а порожній надрядковий символ (\square) відповідає правилам, що не входять в цикли [35].

ГраMATичні правила можуть бути представлені в наступному вигляді:

- $A \rightarrow B(t_B)$, де t_B – час виконання події В в моделюючому процесі;
- $A \rightarrow B(t_B)$, де апостроф вказує початок виконання паралельного процесу. Це означає, що існує правило виду $A' \rightarrow C(t_C)$, яке виконується одночасно з правилом $A' \rightarrow B(t_B)$;
- $Z(t_Z) \rightarrow B(t_B)$, де Z – останній символ в циклічно повторюваною частині рядка, B – перший символ в циклі.

Час t може бути представлено речовим або цілим відображенням. У першому випадку воно відповідає тривалості події, а в другому – кількості повторень операцій, що входять в цикл. Ширші можливості для відображення взаємозв'язку між подіями, що безперервно протікають у часі. Надаються формальні моделі часу, або T -моделі [15], в яких система понять формується на основі чотирьох базових об'єктів: КРАПКА, ІНТЕРВАЛ, ЛАНЦЮГ і КІЛЬКІСТЬ. Між об'єктами визначено сукупність бінарних відношень. Для поняття ІМПУЛЬСИ введени такі відносини:

1) тотожності ($x_1 = x_2$); 2) раніше ($x_1 < x_2$); 3) не тотожні ($x_1 \neq x_2$); 4) не раніше ($x_1 > x_2$).

Відносини між інтервалами мають більш складну природу. Їх можна розділити на дві групи. В першу входять відносини, які визначаються шляхом кон'юнкції відносин над кінцевими точками інтервалів: "Подія A_1 починається раніше події A_2 "; "Подія A_1 починається одночасно з подією A_2 "; "Подія A_1 закінчується раніше події A_2 ", "Подія A_1 прямує за подією A_2 " і т.д.

Друга група відносин над інтервалами не вписується в модель кон'юнктивної семантичної мережі, тому визначається за допомогою первинних понять, синтаксис яких сумісний з синтаксисом цієї моделі: ставлення $МДЖ(t_1, \{t_2, t_3\}) \leftrightarrow НАСТУП((t_2, t_1) \wedge НАСТУП(t_1, t_3) \vee НАСТУП(t_3, t_1) \wedge НАСТУП(t_1, t_2))$.

Поняття *T*-моделей реалізуються наборами фреймів. Слід зазначити семантичні моделі, які передбачають глибоку деталізацію відношення часу і простору є окремим вагонним напрямком досліджень в проблемі штучного інтелекту. Результати цих досліджень можуть бути використані при розробці сценаріїв або на формальному рівні, або із застосуванням засобів програмно-інструментальної підтримки, що містять темпоральні компоненти.

Вельми плідним є підходи, запропоновані в роботах [24, 56, 59], де моделюються динамічні системи, що мають як дискретні, так і континуальні компоненти. Динаміка досліджуваної системи описується послідовністю станів, кожний з яких утворюється шляхом замикання деякого породжує множини фактів і аксіом. Множина використовуваних знань описується за допомогою спеціальної мови, який містить опис подій, процесів, фактів, властивостей, законів і т.п. Час є дискретним. Початок і кінець будь-якої події маркуються спеціальними символами. Події рекурсивно визначаються на базі елементарних подій. Елементарним процесом називається елементарна подія, що має певну тривалість. Елементарним фактом називається завершена в часі елементарна подія. Факти рекурсивно будуються з елементарних фактів. Закони – це відносини на множині подій. База знань включає базу правил і базу процедур. Щоб система була керованою, досить, щоб в БЗ для кожної події були присутні її заперечення, а також подія, наслідком якої вона є. Такий підхід є актуальним при моделюванні динаміки складних відкритих систем, які не мають точного аналітичного опису і допускають неповноту використовуваного набору знань.

Сценарійний підхід використовуємо для побудови образів майбутнього в завданнях прогнозування та стратегічного планування в інтелектуальних системах. При цьому крім відомих програмних засобів проводиться розробка і дослідження спеціального програмного забезпечення для генерації сценаріїв на основі причинно-наслідкових зв'язків з поданням знань засобами логіки предикатів. У розробленій системі використовується дискретний час, тривалість подій задається зазначенням початку і кінця. Кількісні характеристики об'єктів, факторів, подій і інших елементів сценарію обчислюються за допомогою процедур, що зберігаються в БЗ.

Для характеристики об'єктів використовуються символні і числові атрибути. набір конкретних значень атрибутів визначає стан об'єкта. При синтезі сценарію значення атрибутів об'єкта можуть змінюватися з плином часу, а також внаслідок настання випадкових подій і дій суб'єктів. Деякі стани об'єктів можуть викликати настання певних подій, в тому числі завершення сценарію. Залежно атрибутів об'єкта від часу моделюються спеціальними процедурами, які задають темпи зміни характеристик на основі відомих законів або гіпотез, а також на основі емпіричних залежностей. Будь-який

об'єкт описується предикатом виду: Об'єкт (t , "найменування", "тип", "список атрибутів").

Темпи, що характеризують зміни станів об'єктів і суб'єктів у часі, зумовлені дією об'єктивних законів. Для завдання темпів використовується структура даних: Темп ("ім'я атрибута", "Найменування об'єкта", "Найменування залежності", "список коефіцієнтів").

Для моделювання темпів передбачений наступний набір залежностей:

$$\begin{aligned} < \text{linear} > \rightarrow a_0 + a_1 t; < \text{square} > \rightarrow a_0 + a_1 t + a_2 t^2; < \text{exponent} > \rightarrow a_0 + a_1 e^{a_2 t}; \\ < \log > \rightarrow a_0 + a_1 \log(t+1); < \sin > \rightarrow a_0 + a_1 t^n \sin(t+a_2). \end{aligned} \quad (8.32)$$

В даному випадку суб'єкти або діючі особи (ДО) призначені для опису сценарію. Вони мають здатність здійснення активних дій. Суб'єкти, як і об'єкти, характеризуються набором атрибутів, що описують стан суб'єкта. Деякі з них можуть змінюватися в часі відповідно до заданих темпами. Тип суб'єкта показує, чи може він бути об'єктом. Якщо – так, то характеристики суб'єкта можуть змінюватися в результаті дії факторів і інших суб'єктів. Суб'єкти можуть самостійно змінювати свої характеристики.

Застосування цього атрибута є спробою ввести просторову компоненту в уявлення знань. У свою чергу, деякі атрибути можуть впливати на значення характеристик об'єктів і обмежувати набір можливих для суб'єктів дій. Це викликає необхідність використання спеціальних атрибутів, щоб дати характеристики суб'єктам. Кожен суб'єкт має певний статус, що характеризує його здатність до дій. Значення цього атрибута вибирається з набору [активний; очікує події; вийшов]. Активна ДО може протягом даного кванта часу виконувати доступні йому дії, вибираючи їх відповідно до встановлених пріоритетів або випадковим чином. Дійова особа може виявитися тимчасово нездатним діяти, якщо очікує настання деякої події, або вийти з гри назавжди. Для реалізації цих випадків в список атрибутів ДО додаються "очікувана подія" і "умова виходу", "повідомлення про вихід ДО". Очікувана подія може бути пов'язано з досягненням певного значення деякого атрибута, в тому числі значення часу [57].

Подією є основна інформаційна одиниця сценарію, призначена для активізації дійових осіб (суб'єктів), запуску, заборони і дозволу появи інших подій, зміни значень характеристик об'єктів, а також для завдання цих характеристик. Подія може мати певну тривалість у часі і може викликатися одним із таких способів:

- іншою подією (дією факторів або суб'єктів);
- досягненням заданого стану об'єкта або суб'єкта;
- при виконанні деякої умови;
- випадковим чином.

Можливі також довільні поєднання перерахованих способів. У таких випадках описується подія, що настає при істинності всіх умов. Наступ події може бути заборонено іншою подією. У цьому випадку навіть при істинності умов настання даної події воно не буде активізовано до тих пір, поки не

завершиться заборонає подія чи не станеться інше дозволяє подія. Для визначення порядку настання подій служить атрибут "пріоритет події" - ціле число від 0 до 20. Першими виконуються події з більш високим пріоритетом (числом).

Крім того, події характеризуються наступним набором системних атрибутів:

- кратність появи: двійкова система, яка дозволяє події брати участь в сценарії після своєї першої появи;
- час запізнювання: ціле число, що задає в умовних одиницях інтервал часу, після закінчення якого з моменту активізації настануть наслідки події;
- група взаємовиключення: цілочисельний атрибут, що виключає одночасний наступ двох або більше подій, активізованих в один і той же момент часу.

При цьому вибирається одна подія, що має найвищий пріоритет. В системі синтезу сценаріїв елементарна подія визначається або як дія суб'єкта, в результаті якого можуть змінитися характеристики об'єктів (суб'єктів), або як випадкове (закономірне) зміна цих характеристик, або як дія зовнішнього чинника, яке може приводити до зміни певних атрибутів. Елементарне подія протікає протягом одиничного кванта часу. Сукупність елементарних подій протягом одного кванта часу t називається станом. Послідовність станів є сценарій.

Фактори – це різновид некерованих подій, які зумовлені дією зовнішнього середовища. Дія факторів може призводити до зміни характеристик об'єктів і суб'єктів, а також до виклику, активізації та заборони певних подій і дій ДО. Фактор описується предикатом [58, 61].

Дії суб'єктів – це вид подій, ініційованих дійовими особами. На відміну від факторів цей вид подій причинно обумовлений. Кожна дія пов'язане з певним суб'єктом. Дії ДО впливають на стан об'єктів, можуть викликати, забороняти і дозволяти події, можуть мати відкладені наслідки, але не можуть відключатися подіями, оскільки рішення про вчинення дій приймають дійові особи. На вибір дій може бути накладена заборона з боку діючих факторів, розташування суб'єктів і з боку дій інших дійових осіб. Це зроблено для своєчасного реагування на дії інших суб'єктів. Підмножина дозволених дій є активним набором дій. Якщо активний набір порожній, суб'єкт не може діяти. Якщо в активному наборі міститься не достатня кількість альтернативних рішень, то дія вибирається відповідно пріоритетним або випадковим чином. Дії ДО описуються предикатом [60].

Механізм обробки знань, що зберігаються в БЗ, визначається на основі причинно-наслідкових зв'язків і виявлених залежностей між елементами сценарію, які формулюються аналітиками, які постачають знання або інформацію в систему. Програмно-реалізований інтерпретатор синтезує різні послідовності подій на основі інформації з БЗ.

Наведена граматики не містить розшифровок очевидних символів і детального опису викликаються процедурами. У фігурних дужках прокоментовані процедури обчислення аргументів предикатів, що

знаходяться в лівих частинах граматичних правил, на основі значень аргументів предикатів, записаних в правих частинах. Стан даної системи в момент часу t включає опис сукупності елементарних подій, згенерованих для заданого моменту. Елементарною подією є зміна стану об'єкта або суб'єкта відповідно до заданого темпом, дією фактора або ДО, а також дія фактора або суб'єкта, що не приводить до зміни стану об'єкта або суб'єкта. Якщо дія фактора або ДО відбувається миттєво (час запізнювання дорівнює нулю), то викликані або керуючі події включаються в опис даного стану. Якщо має місце запізнення, то породжувані елементарні події включаються поступово й формується опис наступних станів. Події, розтягнуті в часі, впливають на набори можливих дій на протязі всього терміну їх тривалості. При переході до кожного наступного кванта часу перевіряються умови завершення протікають подій і оновлюються списки активізованих, очікуваних та забороняючих подій.

Сценарний підхід до прогнозування вимагає великих витрат праці і часу для збору та подання знань, а також для експертної оцінки елементів інформації. Доцільність витрат залежить від того, як будуть використовуватися отримані результати. Генерація сценаріїв актуальна для мультиагентних систем. Вельми корисним, виявляється застосування сценаріїв в завданнях стратегічного планування для синтезу варіантів бажаного майбутнього. Синтез сценаріїв в автоматичному режимі з використанням БЗ великого обсягу породжує величезну кількість варіантів, багато з яких мають незначні відмінності і не представляють інтересу для подальшого аналізу. Тому актуальним завданням є виділення підмножини цінних сценаріїв. Його вирішення можливе лише в тому випадку, якщо сформульовані принципи і критерії оцінки породжуваних сценаріїв [62].

Сценарій можна оцінювати по досягнутому результату або з урахуванням всього пройденого шляху. У загальному випадку комп'ютерна система повинна надавати різноманітні можливості для оцінки отриманих сценаріїв, але в БЗ необхідно додати наступну інформацію:

- про цілі (кінцеві і проміжні), якщо такі є. Цілями можуть виступати бажані події або стани об'єктів (суб'єктів);
- про критерії якості, за якими оцінюються стани об'єктів, події та наслідки;
 - про переваги експертів, які проводять оцінку сценаріїв за критеріями якості;
 - про додаткові умови, сформульовані на основі уявлення;
 - про ефективний цілісний сценарій: мінімальне число кроків до заданої мети, найбільше середнє значення заданої характеристики об'єкта, присутність в сценарії множини заданих подій.

Елементи сценарію є цілями і забезпечуються відповідними знаками. Крім того, формуються нові структури даних (таблиці) для подання наявних і нових цілей. Бажані цілі можуть мати різну важливість і можуть виявитися суперечливими. Досяжність цілей можна оцінювати з використанням різних принципів, наприклад з використанням заходів близькості, описаних вище.

Іноді досягнення бажаної мети визначити досить легко. Такі ситуації характерні для комп'ютерних ігор. При наявності множини цілей в якості оцінки досяжності можна вибрати середньозважене арифметичне оцінок досягнення окремих цілей або середньо геометричне.

Альтернативний принцип оцінки досяжності цілей орієнтований на обов'язкове досягнення всіх цілей. Коли цілі мають нечіткі формулювання, то має сенс перейти від двозначної шкали (0, 1) до більш інформативним шкалам. Експертні оцінки значущості цілей використовуються в процесі формування узагальненого показника якості сценарію. При цьому береться не абсолютна, а відносна оцінка досягнення цілей, що обчислюється як відношення узагальненої оцінки сценарію до максимально можливого значення, відповідному досягнення всіх цілей.

Поряд з бажаними подіями і станами об'єктів (суб'єктів) в сценаріях можуть бути присутніми небажані події і стани, які оцінюються за допомогою негативних значень. У сценаріях можуть зустрічатися і неоднозначні події або стани – такі, які можуть наступати багаторазово і/або в різні моменти часу. Такі події або стани оцінюються за допомогою продукційних правил.

У розробленій версії програмного забезпечення для синтезу сценаріїв передбачено обчислення адитивних і мультиплікативних оцінок цілісного сценарію на основі експертних оцінок бажаних і небажаних подій і станів об'єктів. У процесі синтезу сценаріїв використовуються фільтри для відсіювання варіантів, які задовольняють заданим додатковим умовам (списки бажаних і небажаних подій, тривалість сценарію, час досягнення головної мети і т.п.). Обробку знань виконує блок синтезу, реалізований на основі припущення про те, що синтезовані сценарії розбиті на рівні відрізки (кванти) часу, протягом яких можуть відбуватися (або не відбуватися) події (дії факторів і ДО). Даний блок забезпечує функціонування спроектованої граматики, а також здійснює розподіл подій у часі. Функціонування системи сценаріїв ілюструється рис.8.9.



Рисунок 8.9 – Спрощена схема функціонування генератора сценаріїв в інтелектуальних системах

На рис. 8.10 приведено частотний розподіл адитивних оцінок на множині 100 сценаріїв.

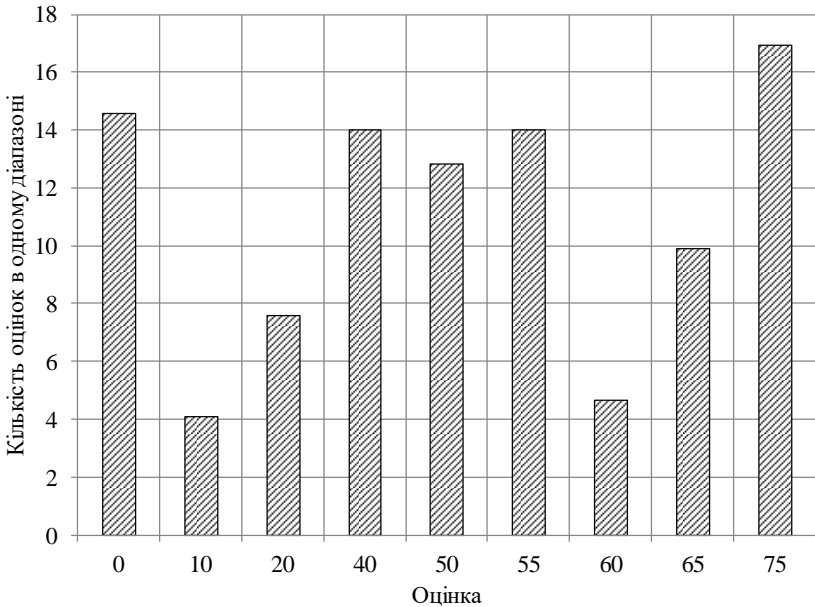


Рисунок 8.10 – Розподіл інтегральних оцінок синтезуючих сценаріїв в інтелектуальній системі

Оцінки були сформовані на базі двох показників: стан економіки і стан соціальної сфери. По осі абсцис відзначені оцінки сценаріїв (за 100-бальною шкалою), а по осі ординат - число сценаріїв, які отримали відповідну оцінку. Нульове значення свідчить про те, що в даному сценарії оцінки економічного і соціального стани не потрапили в задані діапазони.

Отриманий розподіл в цьому експерименті і в ряді інших не дає підстав вважати будь-яку групу оцінок більш імовірною, за винятком низької ймовірності максимально можливих оцінок, що цілком природно при адитивному принципі узагальнення [63].

У процесі синтезу з додатковими умовами вид розподілу свідчить про наявність множини сценаріїв, що мають оцінки, які зустрічаються частіше інших (рис. 8.11).

Це дозволяє судити про вплив сформульованих додаткових умов на якість сценарію в цілому. Результати синтезу множини сценаріїв такої ж потужності (100), але з додатковими умовами, які вимагали появи подій "війна" і "падіння цін на нафту", показали, що значення оцінок більшості сценаріїв знаходяться в діапазоні від 10 до 50, тобто ймовірність синтезу

сценаріїв з високими оцінками економічного і соціального стану знижується при появі названих подій.

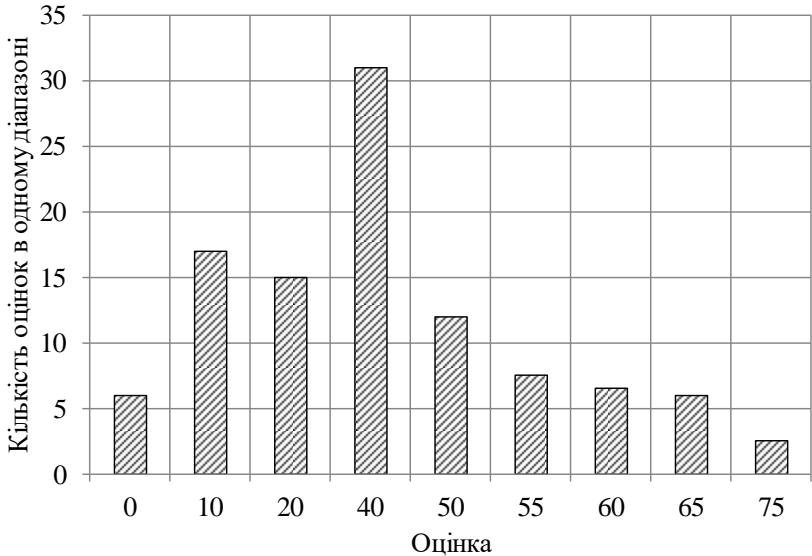


Рисунок 8.11 – Розподіл інтегральних оцінок сценаріїв при додаткових умовах в інтелектуальній системі

Вид розподілу (рис. 8.11) свідчить про існування певної стратегії відбору (або генерації) сценаріїв, яка дозволяє формувати послідовності подій з бажаними властивостями.

Перспективним напрямком є створення мультиагентних систем для генерації сценаріїв розвитку різних ситуацій, в яких автономні агенти, що імітують поведінку суб'єктів, приймають рішення про вибір дій за погодженням зі своїми користувачами. Координатор процесу інформує агентів про те, що можна і що не можна, а також проводить налаштування станів об'єктів відповідно до дій агентів і некерованих факторів зовнішнього середовища. Такий підхід можна впровадити у вигляді розподілених версій ділових ігор або мозкового штурму, орієнтованих на вироблення, з одного боку, творчих, а з іншого боку, раціональних варіантів бажаного майбутнього.

Висновки по розділу 8

1. З'ясовано сутності процесів проектування та вдосконалення інтелектуальних транспортних і виробничих систем. Характерним є їх відкритість, цілеспрямованість, наявність сукупності цілей всередині системи, евристичний або систематичний пошук варіантів досягнення цілей і спроб

прогнозування можливих наслідків прийнятих рішень та суб'єктивних оцінок цих наслідків на основі доступних знань (інформації). Наголошується на підтримку прийнятих рішень при розв'язанні проблем в інтелектуальних системах можуть надати інформаційні технології. В умовах невизначеності доцільним є застосування інтелектуальних методів і комп'ютерних систем, що володіють знаннями і здатністю до міркувань.

2. Проектування інтелектуальних систем містить завдання їх аналізу, пов'язані з накопиченням і дослідженням необхідної інформації та завдання синтезу конкретних варіантів, які відповідають заданим вимогам. Визначено мету та завдання проектування інтелектуальних систем на основі прототипу. Зазначено, що в залежності від конкретних умов можлива будь-яка з наведених постановок завдань проектування. Показано, що концепція удосконалення (реінжиніринг) бізнес-процесів, BPR набула популярності, зумовленої узгодженням в її рештах суперечливих цілей: істотне підвищення ефективності і якості функціонування підприємства без зниження продуктивності. Виявлені основні особливості BPR, етапи, що входять в цикл BPR методологією проектування та удосконалення бізнес-процесів на транспортних і виробничих процесах становлять методи теорії систем, математичне моделювання, дослідження операцій, інформацій, штучного інтелекту, а також самознання з відповідних областей бізнесу.

3. Зазначено, що основним методом дослідження складних систем таких як інтелектуальні транспортні і виробничі системи є системний аналіз. Визначено загальні етапи системного аналізу: постановка завдання, формування опису системи, вибір найкращих рішень. Виявлені основні дії на етапах системного аналізу, основні закономірності, які властиві інтелектуальним системам, та закони композиції, яким підкоряється функціонування систем. Виділено три основні групи властивостей інтелектуальних систем.

4. Визначено сутність системного підходу до проектування інтелектуальних систем та сформовано основні аксіоми системного проектування. Дано характери стику формального лінгвістичного підходу та теоретико-множинного способів опису систем. Зазначено, що успіх будь-якого проекту забезпечує побудову прогнозів. Представлені моделі структури і функціонування. Дано характеристику наступним підходом до математичного моделювання: статистичний; структурно-функціональний; ситуаційне і імітаційне моделювання; синергетичний. Зазначається, що проектування інтелектуальних систем завжди передбачає вирішення завдань синтезу, сформульовано вимоги, що пред'являються до синтезуючих інтелектуальних систем і які залежать від конкретних умов та впливу на якість одержуваних рішень. Викладено підходи до алгоритмізації структурного синтезу. Визначено основні причини відсутності загального рішення завдань синтезу складної неоднорідної системи.

5. Визначено, що більшість сучасних транспортних і виробничих фірм і компаній при вирішенні своїх завдань орієнтуються на використання CASE-технологій і засобів швидкої розробки додатків. Виділено п'ять категорій

використовуваних програмних засобів та дано їм коротку характеристику. З'ясовано можливості застосування BPR на вітчизняних транспортних і виробничих підприємствах в сучасних умовах. Позначено, що чітке розуміння цілей і можливостей застосування технологій проектування інтелектуальних систем, зокрема BPR, є необхідною умовою для правильного вибору стратегії та методів їх вдосконалення.

6. При проектуванні інтелектуальних систем виникають завдання колективного багатокритеріального вибору, ускладнені наявністю взаємних вимог його учасників. Наведено і проаналізовано приклад підходу до вирішення проблеми колективного вибору у інтелектуальній виробничій системі (підприємство-виробник транспортних засобів) з урахуванням взаємних вимог сторін, яке є типовою для завдань проектування і вдосконалення систем. Визначено сукупність учасників процесу прийняття рішень як вектор, який включає сім об'єктів, кожен з яких є множиною. Побудовано граф завдання колективного вибору прийняття рішень та з'ясовано його структуру. Використано поняття міри подібності для лінгвістичного опису системи. Розглянуто індекс подібності для нечітких множин та скалярні індекси і їх властивості.

7. Побудована оцінка ступеня взаємного задоволення, множини вимог кожного об'єкта. Наведено вигляд адитивності функції вибору та її зважений варіант, а також відповідні мультиплікативні, адитивно-мультиплікативні функції. Дано аналітичне відображення принципу максимальної ефективності відображення принципу максимальної ефективності. В табличних і графічному варіантах відображено властивості і вимоги до виробника, споживачів, інвесторів технологій виробництва, до ВЗП, інфраструктури, влади та результати прийняття рішень у завданні колективного вибору.

8. Виявлено найбільш прийнятні партнери, схожість взаємних вимог, рекомендації які необхідно надати учасникам виробничої системи. Показано, що для вирішення конфліктів між учасниками. Колективного вибору хороші перспективи мають методи мельтиагентних систем. При цьому здійснюються відповідні зміни інформації в базі знань, складається структура бази знань мультиагентної системи для підтримки процесів колективного вибору рішень. Запропонований підхід ряд переваг для пошуку компромісних рішень.

9. Завдання проектування інтелектуальних транспортних і виробничих систем полягає у створенні людей, які будуть здатні виконувати покладені на них функції з заданим рівнем якості. Зазначено, що завдання проектування і удосконалення інтелектуальних систем є динамічними завданнями прийняття рішень в умовах невизначеності, а тому рекомендовано використати метод емоційного синтезу станів інтелектуальних систем, тобто застосувати схему еволюційного проектування. Еволюційний підхід до синтезу полягає в побудові цілісної системи з більш простих частин (підсистем) з позиції теорії розвитку. З множини можливих комбінацій елементів на кожному кроці синтезу відбираються тільки ті, які мають високі шанси на виживання у зовнішньому середовищі і не мають внутрішніх протиріч. Для реалізації еволюційного синтезу можна використати метод генетичних алгоритмів,

оскільки в процесі синтезу виникає проблема формування структур описів проміжних станів, а також проблема вибору основних станів, оскільки кросинговер можливий тільки між певними їх видами, присутніми у відтворенні. У відомих генетичних алгоритмах ця проблема успішно вирішується з використанням механізмів випадковості вибору. Розглянуто етапи реалізації цього методу з побудовою графу взаємних вимог і матриці відповідності. Зазначимо, що еволюційний підхід до синтезу передбачає застосування різних способів отримання параметрів. Наведено процедуру обчислення компонентів вектора властивостей для варіанту системи, формування функції цінності та узагальненої оцінки ступеня задоволення взаємних вимог елементів. В залежності від обсягу знань про проєктовану інтелектуальну систему, від її складності еволюційний синтез можна проводити в різній послідовності. Дано алгоритм синтезу для випадкового однорівневого уявлення інтелектуальної системи та розглянуто механізм синтезу, заснований на послідовному з'єднанні елементів.

10. Якщо транспортні та виробничі системи погано формалізовані за завданнями і інформацією, то для динамічного і інтелектуального їх моделювання доречним є метод синтезу сценаріїв складних інтелектуальних систем з точки зору логіки. При цьому рішення завдань проєктування систем вимагає побудови прогнозів можливих змін у зовнішньому середовищі. Зазначено два принципових підходи до прогнозування: на основі минулого та з урахуванням появи нових тенденцій і подій. Метод сценаріїв передбачає послідовність взаємодіючих подій за певних умов реалізації. Синтез сценаріїв ефективно проводити на другому підході до прогнозування. Побудовано схему варіантів можливих подій в сценарії розвитку транспортних послуг. Сценарний підхід можливо використати для побудови образів майбутнього в завданнях прогнозування та стратегічного планування в інтелектуальних системах.

11. Наведено процедуру моделювання змін станів (темтів) розвитку систем, зумовлених дією об'єктивних законів. Дано характеристику об'єкту, суб'єкту, подіям, фактором при застосуванні сценарного підходу до прогнозування, систему вимог, необхідну базу знань (інформацію). Розроблено спрощену схему функціонування генератора сценаріїв та розподіл інтегральних оцінок синтезуючих сценаріїв. Останнє свідчить про існування певної стратегії відбору сценаріїв, яка дозволяє формувати послідовність подій з бажаними властивостями інтелектуальних транспортних та виробничих систем. При цьому перспективним є створення мультиагентних систем для генерації різних ситуацій розвитку.

РОЗДІЛ 9. МЕТОДИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ СТВОРЕННЯ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ В УКРАЇНІ

9.1 Створення інтелектуальних транспортних систем в Україні на основі європейського досвіду

Одним з найбільш важливих завдань транспортної системи України є забезпечення максимальної ефективності функціонування транспортно-дорожнього комплексу (ТДК) країни шляхом підвищення якості задоволення потреб економіки і населення в безпечних і ефективних транспортних послугах. Реалізація завдання забезпечення необхідної мобільності населення можлива за рахунок двох взаємно доповнюючих напрямків діяльності: будівництво нових ділянок доріг і впровадження технологій організаційного управління транспортною системою з використанням сучасних інформаційно-телекомунікаційних та телематичних технологій на основі їх інтелектуалізації.

З огляду на накопичений досвід побудови розрізаних інформаційних систем на транспорті, на сьогоднішній день назріла необхідність формування єдиної державної стратегії, яка визначає правила розвитку сфери державного контролю, технічного регулювання та розвитку ринку даних технологій як частин єдиного програмного комплексу, що об'єднує діяльність широкого переліку органів виконавчої влади.

Існуючі і розробляючі локальні або технологічно обмежені відомчі системи інформаційного супроводу і контролю діяльності сегментів транспортно-дорожнього комплексу забезпечують в ряді випадків ефективне рішення вузького переліку завдань. При цьому відсутність єдиних державних стандартів розвитку аналогічних систем обмежує можливість їх інтеграції з метою створення єдиної керуючої платформи, в якій принципи управління виходять на новий якісний рівень. Таким рівнем є прогнозне управління, тобто управління передбачення ситуації за сукупністю показників діяльності ТДК.

Система, яка об'єднує технічну і технологічну підсистеми організації дорожнього руху або забезпечення безпеки та надання інформаційного сервісу учасникам дорожнього руху і потенційним суб'єктам транспортного процесу є ІТС.

Основним і оперативним завданням ІТС є здійснення і підтримка можливостей взаємодії всіх транспортних суб'єктів, яка відбувається в реальному масштабі часу на адаптивних принципах реалізації. Зазначимо, що взаємодія суб'єктів автоматична і автоматизована в побудові ІТС покладено комплекс дорожньо-транспортної, транспортно-технологічної, транспортно-сервісної та інформаційної інфраструктур. Фактично це є сукупність підсистем, якій надано функції диспетчерського, оперативного і ситуаційного координування взаємодій задіяних служб, відомств та інших суб'єктів. Для

організації взаємодії підсистем ТДК створюються регіональні диспетчерські центри.

Побудова ІТС неможливо без розробки і реалізації проектних рішень по формуванню середовища (комплексу) зв'язку, що враховує всі види зв'язкової взаємодії, від дротових (високо-швидкісні оптоволоконні мережі) до бездротових (стандарти зв'язку, доступні від операторів стільникового зв'язку; радіо- і транкінговий зв'язок, Інтернет).

Прийняття рішень, що стосується ІТС, повинні базуватись на наукових принципах визначення та моніторингу індикаторів ефективності їх підсистем. При цьому враховуються інтереси регіону, за параметрами функціонування ІТС, його споживачів інформаційних та інших послуг, що надаються через ІТС. Одночасно, дані ІТС можуть використовуватися для обґрунтування витрат з обслуговування, реконструкції доріг, а також з метою обґрунтування доцільності та параметрів будівництва нових ділянок доріг.

У світовій практиці ІТС визнано як загальнотранспортну ідеологію інтеграції досягнень телематики в усі види транспортної діяльності для вирішення проблем економічного і соціального характеру: скорочення аварійності; підвищення ефективності громадського транспорту і вантажних перевезень; забезпечення загальної транспортної безпеки; поліпшення екологічних показників.

Європейський досвід створення ІТС полягає в реалізації наступних організацій або програм:

1. ERTICO: європейська асоціація учасників ринку ІТС, яка об'єднує провідних виробників, зацікавлених у розвитку ринку ІТС, громадські організації, міністерства і відомства, інфраструктурних операторів зв'язку, користувачів; некомерційна організація, створена за участю Єврокомісії та Міністерств транспорту країн-учасниць ЄС; мета створення ERTICO - реалізація на внутрішньому і зовнішніх ринках політичних рішень для розвитку ІТС Європейська асоціація учасників ринку ІТС, яка об'єднує провідних виробників. При цьому спостерігається зацікавлених у розвитку ринку ІТС громадських організацій, міністерств та відомств, інфраструктурних операторів зв'язку та користувачів.

2. E-Call (Emergency Call): Система екстреного реагування при ДТП, тобто обов'язкове оснащення всіх автомобілів телематичними блоками з тривожною кнопкою.

3. ADASIS (Advanced Driver Assistant Systems Interface Specification): використання точних картографічних даних в навігації для отримання водієм прогнозу ситуації на дорозі.

4. AIDE (Adaptive Integrated Driver-Vehicle Interface): використання спеціального електронного обладнання та програмного забезпечення, що дозволяє концентрувати увагу водія в момент обгону і відключення функцій приладів в салоні автомобіля, що відволікають увагу під час здійснення складного маневру.

5. ERTRAC (The European Road Transport Research Advisory Council): програма координації взаємодії Європейських дослідницьких інституцій в

дорожньому і транспортному комплексі з метою структурування та оптимізації науково-дослідних робіт в інтересах країн Євросоюзу.

6. FeedMAP: забезпечення постійного оновлення електронних карт для навігації.

7. GST (Global System for Telematics): створення технологічної платформи для розвитку співпраці, необхідного для розвитку масового ринку телематичних послуг, що забезпечують збір, передачу обробку інформації для користувачів-учасників дорожнього руху, швидкої допомоги і служб порятунку.

8. eSafety Forum: європейська програма з масового впровадження систем активної і пасивної безпеки, що включає в себе роботи по проекту eCall ("екстрений виклик"); створення електронних карт; вивчення ефективності каналів передачі інформації в диспетчерський центр; співпраця з учасниками ринків телематичних послуг; вироблення пріоритетних завдань. Розробляються також міжнародні стандарти: з надання екстреної допомоги постраждалим в аварії; гармонізації технічних рішень по передачі інформації між транспортними засобами та ними і дорожньою інфраструктурою. Відбувається інформування учасників дорожнього руху в режимі реального часу через спеціальний радіоканал.

9. EuroFOT (European Large-Scale Field Operational Tests on In-Vehicle Systems), FOT-NET (Networking for Field Operational Tests): програми з тестування і оцінки прикладних ІТС-рішень.

10. HeavyRoute: програма підтримки швидких і безпечних вантажних перевезень.

11. IP PReVENT: Програма впровадження спеціальних електронних пристроїв (ADAS – Advanced Driver Assistance Systems), що дозволяють водієві заздалегідь отримувати превентивну інформацію про можливі небезпеки і уникати аварійних ситуацій.

12. MAPS&ADAS (IP PReVENT): використання електронних карт для підвищення безпечності на дорогах.

13. SAFESPOT: програма підтримки появи великої кількості "розумних" автомобілів на "розумних" дорогах.

14. SpeedAlert Forum: інформування водія про дотримання встановленого швидкісного режиму.

15. CVIS (Cooperative vehicle-infrastructure systems): програма взаємозв'язку автомобілів і дорожньої інфраструктури.

16. EuroRoadS: програма по створенню бази даних про європейську дорожню інфраструктуру.

17. ESP21 (European Security Partnership for the 21st Century): програма формування комплексного підходу для забезпечення справедливого, правового, вільного і безпечного життя у Європі.

18. AGILE (Application of Galileo in the Location-Based Service Environment) SISTER (Promoting the integration of satellite and terrestrial communication with GALILEO for road transport): програми забезпечення комерційного використання супутникової системи Galileo.

19. ENITE (European Network on ITS Training & Education): програма підготовки спеціалістів по інтелектуальним транспортним системам.

20. FRAME Forum: програма побудови архітектури для Європейської інтелектуальної транспортної системи.

21. RCI (Road Charging Interoperability): програма розвитку платних доріг.

22. Road Traffic Information Group: програма розвитку інформаційного супроводу учасників дорожнього руху.

23. TMC Forum (Traffic Message Channel): програма інформування учасників дорожнього руху про реальні дорожні обставини по спеціальному виділеному радіоканалу.

24. Network of National ITS Associations: програма по розвитку міжнародної мережі Асоціацій Інтелектуальних транспортних мереж.

25. MODIBEC (Building Cooperation on digital broadcasting convergence with mobile communications between Europe and China): співробітництво країн ЄС і Китаю в сфері цифрових технологій передачі даних.

26. CONNECT, SIMBA: національні та міжнародні програми з розвитку ринку інтелектуальних транспортних систем. Включають в себе програми в Країнах Центральної та Східної Європи, Бразилії, Індії, Китаї, ПАР, а з 2008 р – в Росії. Національним координатором проекту SIMBA в Росії є Професійна Асоціація протидії угонам транспортних засобів.

Найбільший вплив у сфері технічного регулювання ІТС, мають три світові системи стандартизації:

- ISO – міжнародна організація по стандартизації (ISO – International Organization of Standardization), де сфера ІТС регулюється технічним комітетом 204 (Technical Committee 204 – Intelligent Transport Systems);

- CEN – Європейського комітету зі стандартизації (CEN – European Committee for Standardization), де сфера ІТС регулюється технічним комітетом 278 (Technical Committee 278 – Road Transport and Traffic Telematics);

- ITS Standards of Japan – японська система стандартизації.

Створені в цих організаціях робочі групи спеціалізуються за напрямками: Архітектура; Системи повернення викрадених транспортних засобів; Громадський транспорт; Управління стоянками і парковками; Громадська ближня зв'язок; Інтерфейс людина / машина; Автоматична ідентифікація транспортних засобів; Ширококутний зв'язок / протоколи і інтерфейси; Системи управління вантажним транспортом і рухомим складом та ін.

До теперішнього часу основна частина процесів, функцій, інтерфейсів, протоколів обміну даними, вимог до обладнання та інших аспектам ІТС в загальному плані вже стандартизована на міжнародному рівні, а в розвинених країнах – і на національному рівні. На поточний момент в Україні ІТС як така не регламентується жодним державним стандартом. Відсутні стандарти, що регулюють відносини в галузі інформації, комунікацій і систем управління наземними транспортними засобами в місті і в сільській місцевості, включаючи організацію дорожнього руху, громадський транспорт,

комерційний транспорт, аварійні служби та комерційні послуги в області ІТС. Механізми реалізації ІТС відрізняються в різних країнах, проте ключові компоненти однакові. При наявності апробованої в світі загальної концепції розвитку ІТС, всі країни мають свої Національні концепції та пріоритетні Програми розгортання ІТС, що зафіксовано в тому чи іншому державному документі.

9.2 Функції інтелектуальності транспортних систем та їх архітектура

Функціями ІТС є системи, що інтегрують сучасні інформаційні, комунікаційні та телематичні технології, технології управління і призначена для автоматизованого пошуку та прийняття до реалізації максимально ефективних сценаріїв управління транспортною системою регіону (міста, дороги), конкретним транспортним засобом або групою транспортних засобів, з метою забезпечення заданої мобільності населення, максимізації показників використання дорожньої мережі, підвищення безпеки та ефективності транспортного процесу, комфортно для водіїв і користувачів транспорту. Функція інтелектуальності в ІТС забезпечується за рахунок:

- максимально можливої автоматизації процесів управління транспортно-дорожнім комплексом;
- вироблення прогностичних керуючих рішень на основі сучасних математичних рішень і високо ефективних апаратно-програмних реалізацій.

На технічному рівні ІТС має розподілену елементну архітектуру на транспортних засобах та в інфраструктурі, як підсистеми ІТС.

Підсистема ІТС має закінчений, в рамках одного прикладного завдання, комплекс технологічних рішень, що реалізується на основі застосування технічних засобів телематики. Вона включає комплекс отримання цільових даних (на основі власної системи моніторингу, або від суміжної підсистеми), апаратно-програмний комплекс аналізу та прийняття рішення відповідно до функціонального завдання.

Інфраструктура ІТС – це комплекс технічних засобів, периферійних пристроїв і каналів зв'язку, що виконують функції в ІТС і не розташованих на транспортних засобах. До інфраструктурі ІТС слід також віднести:

- дорожній комплекс всіх підсистем, в тому числі: технічні засоби моніторингу, аналізу та прийняття рішення відповідно до функціональних завдань підсистем, засоби реалізації управлінських рішень;
- ситуаційні, диспетчерські та оперативні центри.

До бортових засобів ІТС відноситься комплекс апаратно-програмних засобів який штатно або додатково встановлених на транспортних засобах й забезпечує вирішення завдань інформаційної взаємодії з інфраструктурою ІТС або з іншими транспортними засобами в рамках функціональних завдань різних підсистем ІТС. Здійснюється зазначене з метою реалізації функцій моніторингу, управління та оптимізації руху, стану транспортного засобу, водія і вантажів, а також забезпечення інформаційної підтримки дій водія.

Бортові ІТС реалізують такі функції:

- надання водію допомогу в передбаченні дорожньої обстановки;
- запобігання небезпечній ситуації;
- зниження стомлюваності водія й приймання частини навантаження з управління автомобілем на себе;
- у випадку, якщо водій самостійно не зміг виконати необхідні дії по запобіганню ДТП, або знижуючи тяжкість її наслідків, автоматично беруть управління на себе;
- дозволяють ідентифікувати транспортний засіб і параметри його роботи.

В ІТС істотну роль відіграють зовнішні інформаційні системи як інформаційні системи різних видів транспорту. В їх рамках передбачена оперативна та інша взаємодія на основі поєднаної диспетчеризації, а також інформаційні системи різних міністерств і відомств, в яких передбачено функціональний зв'язок з ІТС.

При формуванні прикладної архітектури ІТС в режимі проектування на підставі вимог замовника (з урахуванням інтересів споживачів, транспортної політики, рівня взаємодії оперативних служб органів виконавчої влади та т.д.) здійснюється формалізоване комплексне уявлення про функціональну та технічну структуру, зональні параметри і рівні сумісності транспортно-телематичних систем (підсистем ІТС), взаємодія яких з максимальною ефективністю забезпечує необхідну мобільність населення і використання дорожньої мережі при заданому рівні транспортної та екологічної безпеки.

До прикладної архітектури включається комплекс підсистем, що визначаються в процесі проектування локальної ІТС. Функціональна архітектура ІТС (рис. 9.1) визначає функції окремих елементів, модулів і локальних підсистем (ЛП), включаючи зв'язки між ними.

Функціональна архітектура ІТС базується з урахуванням сервісної специфіки, тобто враховує попит споживачів в різних підсистемах. Окремі підсистеми функціональної архітектури містять ряд процесів, з яких складаються телематичні додатки (телематичні елементи). Складовою частиною завдань функціональної архітектури ІТС є інформаційна архітектура системи, яка дає точний опис інформаційних процесів у всіх підсистемах і телематичних додатках, включаючи вимоги до вхідних і вихідних потоків інформації. Інформаційна архітектура може відрізнятися в різних підсистемах ІТС.

Функціональна архітектура визначає модульну структуру ІТС, в якій прописуються цільові спрямування розгортання ІТС (безпека, організація дорожнього руху, моніторинг на дорозі і в транспортному засобі), та цільові групи завдань, навколо яких сформовані підсистеми ІТС в транспортних засобах, в дорожній інфраструктурі, а також реалізована їх інтегрованість.

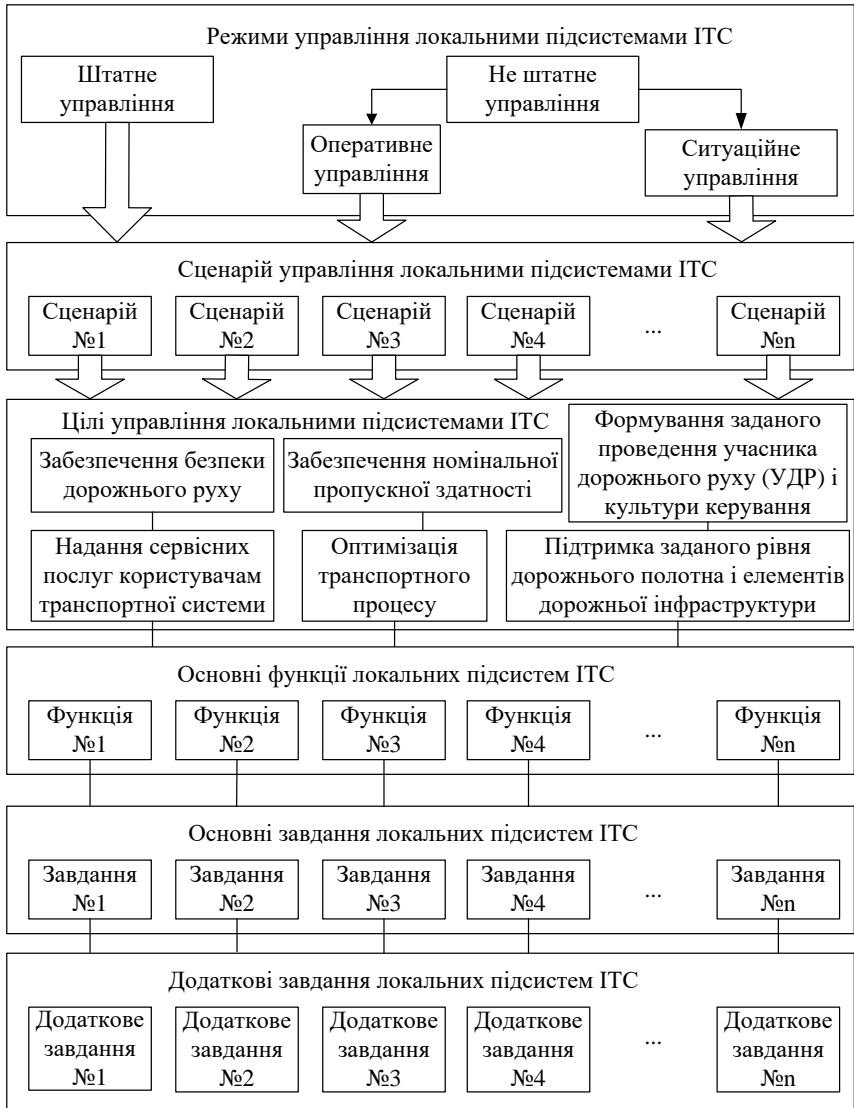


Рисунок 9.1 – Функціональна (управлінська) архітектура підсистем в інтелектуальних транспортних системах

Структура об'єктів ІТС в значній мірі визначає комплекс груп підсистем, які відповідно до світового досвіду є частиною комплексних проектів ІТС. Слід зазначити, що до груп підсистем ІТС відносяться

підсистеми і диспетчерського управління. В підсистемі задіяні всі категорії транспорту, що виконують комерційні та цільові перевезення, управління транспортними потоками і інформаційним сервісом. Розглянути також групи підсистем дорожнього господарства, в тому числі по контролю транспортної ситуації і за станом дороги. Дані групи підсистем найбільш часто є предметом цільового замовлення на проектування і можуть існувати як інтегровано в складі ІТС, так і самостійно. Ці групи характеризуються регіональним (муніципальним) рівнем контролю.

У деяких випадках структурний опис груп підсистем вимагає більш докладного опису технологій. Зокрема, група підсистем керування транспортними потоками включає дві комплексні технології, директивні і непрямі принципи управління. Такі комплекси також можуть бути предметом замовлення на самостійне проектування на муніципальному і відомчому рівнях. Всі підсистеми ІТС формуються за рахунок набору опорних технологій, зміст і параметри яких визначаються на стадії проектування підсистем або ІТС в цілому, якщо проектування окремої опорної технології не було самостійним пунктом вимог щодо проектування регіональної ІТС.

Технічне виконання опорних технологій пов'язано з розвитком телематичних елементів дорожньої інфраструктури, а також з освоєнням або створенням стандартів зв'язаної і комунікаційної взаємодії суб'єктів і об'єктів ІТС. У комплексі ІТС технічні елементи формують поняття про фізичну архітектуру.

За допомогою стандартизації телематичних елементів і стандартів передачі інформації формуються вимоги до параметрів обігу інформації як всередині ІТС за технологічними завданнями підсистем, так із зовнішніми інформаційними системами. До уваги беруться і інформаційні системи різних видів транспорту, оперативних служб органів виконавчої влади, які мають відповідну компетенцію, а також функції користувачів ІТС. Інша форма класифікації функцій ІТС описується ієрархічною структурою і процесами в підсистемах ІТС. Кожен процес в підсистемах характеризується конкретними функціями і параметрами, які висувають вимоги до вхідної і вихідної інформації, а також до способу обробки інформації. В якості вимог до вхідної інформації окремих процесів відносяться частоти та визначення інтерфейсів вхідної інформації, вимоги до передачі вхідної інформації від датчиків. До вимог обробки інформації в рамках процесу відносяться, зокрема, захищеність і надійність даних в процесах обробки, властивості використовуваних алгоритмів. Зазначимо, що для надійного функціонування телематичних додатків необхідно забезпечити синхронізацію (узгодження) між окремими процесами. Ця синхронізація може бути кодовою, щоб обмін інформацією відбувався за узгодженими протоколами, тимчасова для приведення масиву інформації до єдиної шкали часу, і простору, яка вимагає, те щоб інформація була віднесена до єдиної спільної точки простору.

Опорні технології ІТС використовують виходи окремих частинних процесів, які синхронізовані в часі, за кодом і в просторі. До опорним технологій ІТС відносять: підтримку транспортного планування, інформацію

про водія легкових автомобілів, електронний збір оплати за проїзд на автомагістралях, управління громадським транспортом, управління перевезеннями вантажними транспортними засобами тощо.

Ієрархічна структура інформаційної архітектури ІТС, з опорними технологіями розташовується в декілька шарів (рис. 9.2).

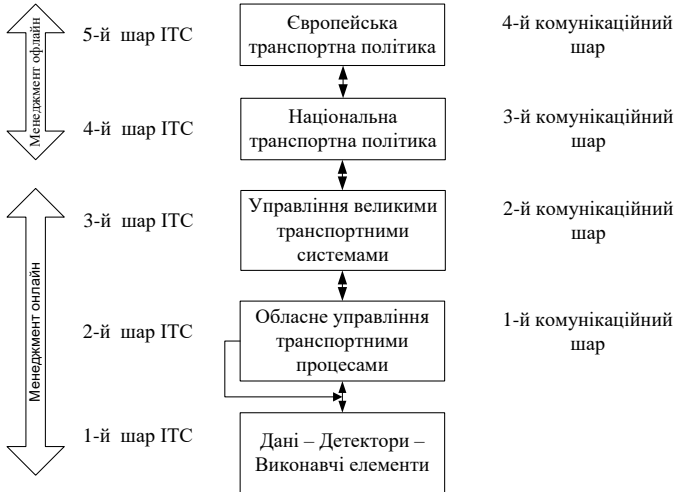


Рисунок 9.2 – Ієрархічна структура інформаційної архітектури інтелектуальних транспортних систем

Ієрархічна структура є основною передумовою оптимальної інформаційної архітектури з точки зору просторової і цінової оптимізації. За цими чинниками слід шукати єдину модель ієрархічної структури, яка буде враховувати різні вимоги до захищеності, надійності і доступності збору, передачі та обробки інформації.

Перший шар являє собою найнижчий рівень системи, яка утворена як детекторами, так і виконавчими елементами і в ньому проводиться збір даних і дії з процесів управління.

Другий шар характеризує оперативне управління невеликими ділянками транспортних мереж, окремих терміналів або транспортних засобів.

Третій шар характеризує всю транспортну мережу великих ділянок і, в більшості випадків, мова йде про обробку, уніфікації і отримання інформації з підсистем другого шару.

Четвертий шар відображає державну транспортну політику і її необхідні частини: створення фонду розвитку транспорту, навантаження та фінансування транспортної інфраструктури, оцінка втрат від пригод, статистична обробка даних та ін. Телематичні елементи можна розглядати як джерело інформації для визначення цих параметрів.

П'ятий шар являє європейський рівень та транспортну політику країн -

членів Європейського Союзу.

Кожен шар, природно, можна поділити на споживачів (перевізник, пасажир, водій і т.д.) і інфраструктуру. Ієрархічна структура ІТС однакова як для споживачів, так і для інфраструктури. Комунікаційне середовище між першим і другим шарами пред'являє більш жорсткі вимоги до захисту, надійності та доступності передачі інформації. Одночасно дане середовище має відповідати й іншим вимогам, які, в більшості випадків, ведуть до створення власного комунікаційного середовища. У першому комунікаційному шарі передається найбільша кількість даних. У міру просування у верхні шари зменшуються обсяги переданих даних і знижуються вимоги до параметрів самої передачі. Для більш високих комунікаційних шарів, в основному, можна використовувати послуги існуючих телекомунікаційних організацій. При описі окремих шарів ІТС слід підкреслити, що максимально підтримується комунікація між кожним шаром і мінімальна комунікація спостерігається між сусідніми шарами.

Перший шар ІТС характеризується збором статичних і динамічних даних про транспортно-експлуатаційні якості шляху, транспортних засобах та транспортних терміналах. Характерним для цього шару, крім збору даних, є здійснення управління за допомогою виконавчих елементів. На автомобільному транспорті мова йде про наступні додатки збору даних:

- про транспортно-експлуатаційний стан автомобільної дороги: інтенсивність, склад, щільність та швидкість руху, метеорологічні дані та ін.;
- про транспортні засоби: стеження за небезпечним вантажем, моніторинг викрадених автомобілів, автоматичне оповіщення про ДТП і т.д.;
- про транспортні термінали: зайнятість парковок, стан логістичних центрів і т.д.;
- про стан і зміну виконавчих елементів: зміна стану керованих дорожніх знаків, зміна стану світлофорів та ін.

Другий шар ІТС включає, головним чином, велику кількість регіональних систем управління, які здійснюють незалежне управління на невеликих ділянках транспортних систем. В області автомобільного транспорту до цієї верстви відносяться, в першу чергу, центри управління роботою транспорту міст, центри управління тунелями, центри управління рухом через державні кордони, системи управління окремими ділянками автомагістралей і т.д. Завжди мова йде про певну галузь, яка в більшості випадків характеризується єдиним підходом до управління. В області громадського транспорту це системи управління рухом автобусів і трамваїв, системи управління метро тощо.

Третій шар ІТС об'єднує системи управління другого шару і включає центри управління великими транспортними системами. В області автомобільного транспорту мова йде, в більшості випадків, про центри управління рухом міст, системи управління рухом на мережі автомагістралей, системи управління тунелями і т.д. У громадському транспорті, в більшості випадків, мова йде про центри управління роботою міського пасажирського транспорту.

Четвертий шар ІТС є найвищим ланкою окремих видів транспорту на національному та регіональному рівнях і служить для впровадження транспортної політики та міждержавної взаємодії: електронні цифрові карти автомобільних доріг, масиви інформації для користувачів доріг, системи поширення інформації та їх міжнародної передачі. Цей шар інтегрує політичне, соціальне і економічне планування транспорту для всіх зацікавлених суб'єктів. Шар відрізняється, в першу чергу, збором статистичних даних про транспортні системи і служить для оцінки основних параметрів функціонування транспорту на відповідному рівні. Результатом оцінки якісних характеристик роботи транспортної системи на національному рівні є і визначення розміру фінансування окремих видів громадського транспорту з державного бюджету. Даний шар є частиною інформаційної системи країни, і дані, які він надає, повинні використовуватися іншими державними інститутами.

П'ятий шар ІТС повинен бути ланкою регіональної (європейської, глобальної) транспортної політики і служити для її активної підтримки. На підставі збору даних з окремих регіонів повинні вирішуватися питання капітальних вкладень в транспорт на рівні ЄС (або глобальному рівні).

Фізична і комунікаційна архітектура при цьому визначає вимоги, що пред'являються до програмного забезпечення та апаратних засобів інформаційних і телекомунікаційних технологій, включаючи їх просторову локалізацію (рис. 9.3).

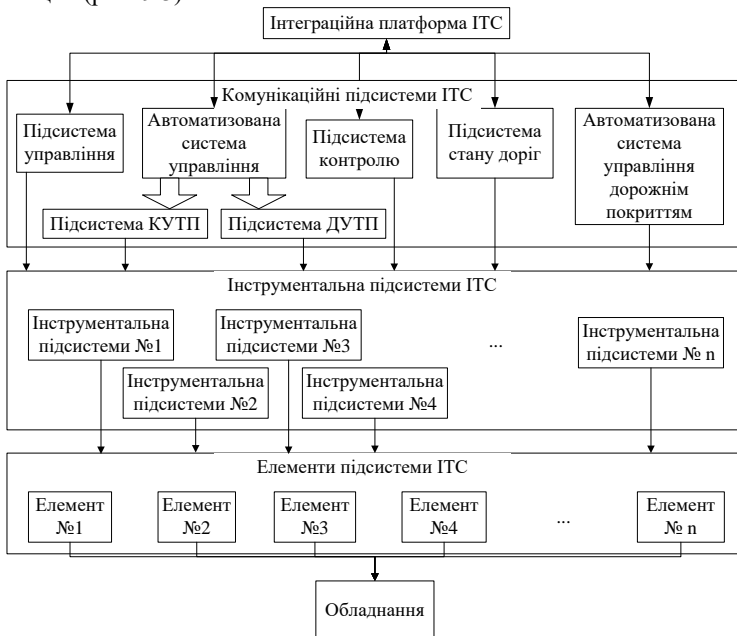


Рисунок 9.3 – Фізична архітектура інтелектуальних транспортних систем

Відповідно до встановленої функціональної і інформаційної архітектури слід визначити конкретні фізичні рішення телекомунікаційних елементів і програмне забезпечення ІТС. Критеріями прийняття рішень є функціональність, безпека, надійність і не в останню чергу загальні витрати, пов'язані з придбанням і експлуатацією системи. Фізична архітектура першого рівня обумовлена вибором датчиків і виконавчих елементів (рис. 9.4).

Найменування датчиків і виконавчих елементів	Зображення
Детектори транспортних потоків	
Автоматичні дорожні метеостанції	
Інформаційні табло	
Знаки змінної інформації	
Телекамери поворотні	
Телекамери стаціонарні	
Тривожна кнопка	
Дорожні світлофорні контролери	
Пункти детекції швидкісних режимів	

Рисунок 9.4 – Датчики та виконавчі елементи

Між першим і другим рівнем здійснюється передача найважливіших даних, яка в більшості випадків тісно пов'язана з безпекою дорожнього руху та управлінням транспортними потоками. Передача між першим і другим рівнями зазвичай забезпечується за допомогою власного спеціального телекомунікаційного середовища, яке повинне гарантувати задоволення вимог до захищеності, доступності та надійності передачі інформації.

Другий рівень обробляє дані і здійснює зональне управління. Він утворюється, в основному, обчислювальною технікою, склад якої визначається відповідно до вимог до інформації, яка обробляється. Телекомунікація між другим і третім рівнями реалізується відповідно до вимог конкретних процесів. Ці вимоги дуже різноманітні. Передбачається, що приблизно половина інформації передається без вимог до надійності, доступності та захищеності, в той час як передача другої половини повинна гарантувати задоволення цих вимог.

Третій рівень визначений інформаційними технологіями управління та логістики найбільших транспортних областей. При цьому програмне забезпечення та апаратні засоби вибираються виходячи з вимог окремих процесів. Телекомунікаційна середовище між третім, четвертим і п'ятим рівнями в переважній більшості випадків утворюється звичайним середовищем одного з існуючих операторів постійних мереж. Передача в транзитному шарі телекомунікаційних мереж відрізняється особливо високим ступенем доступності і взагалі високою якістю середовища. Однак необхідно забезпечити захист системи від зловживання, що зберігається і переданої інформації. Наочним прикладом є фізична архітектура ІТС США (US Department of Transport), яка розділяє транспортну телематику на дві основні підсистеми:

- робота на транспортному шляху (пасажир, транспортний засіб);
- керування транспортними процесами (центри управління роботою транспорту, управління на дорозі).

Дані підсистеми поділяються на модулі та програми. Така архітектура була створена в США тільки для автомобільного транспорту. В ідеології ІТС США постулюється, що якщо автомобільний транспорт є складовою частиною інтермодального і мультимодального транспорту, то слід розширити кількість підсистем ІТС.

9.3 Сучасний можливий розвиток інтелектуальних транспортних систем в Україні та світовий досвід становлення їх проєктів

ІТС в містах України використовуються, в основному, у двох напрямках: підвищення пропускної спроможності транспортної мережі та підвищення безпеки учасників дорожнього руху. Для транспортних пристроїв управління, які управляють конкретними транспортними вузлами або перехрестями, використовується управління на рівні області, яке може реагувати на моментальну ситуацію в транспортній мережі та оптимізувати її пропускну здатність. У разі надзвичайних обставин, ДТП, використовуються

різні методи автоматичного або експертного управління.

У сучасному розумінні, в зв'язку з розвитком транспортної телематики, керуюча система міста не є лише системою управління транспортом на перехрестях за допомогою світлофорів. Вона обладнана і іншими системами і пристроями: інформаційні дисплеї поряд з комунікацією дають водіям можливість вибрати варіанти шляху руху; закодована інформація, в тому числі, передається за допомогою RDS-TMC на дисплеї транспортних засобів. При цьому особлива увага приділяється ДТП, заторам і т.п. Наведення на місце стоянки і подальше використання міського громадського пасажирського транспорту зменшують навантаження транспортної мережі в центрі міста так само, як і прогресивний електронний платіж на під'їздах до центру міст.

Реалізація підсистем ІТС в забезпеченні організації та безпеки дорожнього руху здійснюється через автоматизовані системи управління дорожнім рухом (АСУД), а також з використанням систем недирективного управління транспортними потоками, які спиралися б на принципи надання учасникам дорожнього руху відповідної інформації. Крім базових функцій з організації і забезпечення безпеки дорожнього руху в завданнях даних підсистем входить наступне:

1. Попередження про аварії.
2. Допомога водію при наявності сліпих зон (перехрестя і ін.).
3. Надання права переважного проїзду автомобілям екстрених служб.
4. Попередження про рух автомобіля екстрених служб – від інфраструктури.
5. Зовнішнє обмеження швидкості.
6. Попередження про туман.
7. Попередження про вкритій льодом.
8. Попередження про рух на небезпечній ділянці.
9. Інтелектуальне управління з'їздами на розв'язках.
10. Інтелектуальне світлофорне регулювання.
11. Система попередження про можливе зіткнення на перехресті.
12. Попередження про обмеження допустимої висоти ТС.
13. Попередження про відсутність місць на парковці.
14. Допомога при злитті транспортних потоків.
15. Інформація від пішохідних переходів.
16. Керування автомобілем для запобігання зіткнень на пішохідних переходах.
17. Попередження на залізничних переїздах.
18. Попередження про стан дороги.
19. Попередження про можливий переворот автомобіля (ухил, вітер і т.п.).
20. Дублювання дорожніх знаків на дисплеї автомобіля.
21. SOS-сервіси.
22. Рекомендації по вибору швидкості.
23. Управління швидкісними обмеженнями.
24. Система допомоги при початку руху від стоп-лінії.

25. Попередження про порушення правил світлофорного регулювання.
26. Попередження про сигнал світлофора.
27. Маршрутне орієнтування.
28. Перенаправлення транспортних потоків.
29. Управління в екстрених ситуація.
30. Примушування до дотримання правил.
31. Системи управління транспортом в разі ДТП.
32. Управління дорожнім рухом в місцях проведення дорожніх робіт.
33. Попередження про проведення дорожніх робіт.
34. Системи адаптивного управління швидкісними режимами в залежності від змінюваних погодно-кліматичних умов.

Одним з реалізованих великих європейських проєктів для менеджменту широкої міської області був мюнхенський проєкт COMFORT, який був початий в 1991 р. Це був перший проєкт, який координував транспорт в центрі міста з урахуванням планування мережі автомагістралей в околицях міста. При оцінці стану транспортних потоків в місті слід активізувати елементи інформаційної та навігаційної систем в межах міста. Керуючі алгоритми оцінюють рівень транспорту, оптимізують роботу світлофорів, визначають прогноз розвитку транспортного навантаження та направляють транспортні засоби з області, в якій створюються затори.

При аналізі проєкту було констатовано, що початкові капіталовкладення окупилися через 2 роки тільки завдяки зменшенню кількості ДТП. Кількість наїздів зменшилася на 35%, кількість ДТП з пораненнями – на 30% і кількість загиблих зменшилася на 31%.

Іншими відомими проєктами є проєкти, реалізовані в рамках допомоги Європейського Союзу. Йдеться, зокрема, про наступні заходи:

1. Аналіз транспортних мереж.
2. Приватно, але дуже важливою областю використання результатів аналізу даних є і область встановлення місць виникнення ДТП (incident detection).
3. Інформація та навігація.
4. Управління на в'їзді на магістральні дороги.
5. Управління в залежності від навантаження.

Для основного управління транспортом можуть бути достатніми дані від транспортних датчиків в транспортних вузлах. Попри це, для інтегрованої телематичної стратегії управління транспортом в міських мережах потрібна більш детальніша інформація про дані про ситуацію в мережі, що було продемонстровано в проєктах QUARTET PLUS і EUROSCOPE. В контексті широко прийнятої концепції "управління мобільністю" і тісних зв'язків між моніторингом та управлінням транспортом дані проєкти на практиці випробували нові детекторні системи, основа на відео детектування, нові алгоритми для визначення часу руху, швидкості по смугах руху і в мережі і алгоритми для визначення пунктів відправлення і пунктів призначення (матриця OD: Origin-Destination). Випробувані і тестовані алгоритми прогнозу. Це стосується короткострокових (1...20 хв.), середньострокових

(11...12 год.) та довгострокових прогнозів (1...2 днів). Обидва проекти допомогли зрозуміти, якими неточностями і якими обмеженнями характеризуються прогнози параметрів функціонування транспортної мережі. Вони також визначили напрямки подальшого розвитку. Одним з таких напрямків є використання даних, отриманих від ходової лабораторії, що рухається в транспортному потоці ("плаваючий" автомобіль) – проект CAPITALS. Зрозуміти складні умови в мережі допомогли і роботи в рамках проекту VERA.

Швидке детектування події може почати процес прийняття необхідних заходів, що включають в себе стратегію управління транспортом та інформування водіїв перед початком руху і / або в процесі руху, а також і істотно швидку реакцію служб порятунку. Крім детектування пригод в рамках проекту IN-RESPONSE була розроблена і модель для прогнозування ДТП. Автоматичне визначення місць ДТП. Кілька європейських проектів також були присвячені проблеми управління ліквідацією наслідків ДТП. Йшлося про модифікованих проектах керування транспортними потоками у містах UTC (Urban Traffic Control), які за допомогою спеціальних модулів забезпечували детектування пригод та їх вплив на рух транспортних потоків. Проекти IN-RESPONSE і IN-EMERGENCY демонстрували різноманітність технік, включаючи швидкодіючі системи попередження, призначені для служб порятунку, і інструменти, що підтримують прийняття рішень операторами служби порятунку.

Системи для інформування водіїв за допомогою бортових блоків або керованих дорожніх знаків і дисплеїв (TFIS), розташованих уздовж доріг, мають постійно зростаюче значення для управління транспортними потоками на мережах доріг. Інформація про можливі проблеми значно зменшує затори завдяки тому, що водій може вибрати інші варіанти шляху руху або відповідну стоянку або парковку. Європейські проекти в даній час все більше спрямовані на системи TFIS, з огляду на те, що бортові блоки в транспортних засобах поки ще не дуже поширені і таким чином не можуть викликати істотного впливу на рух транспортних потоків. Проекти в цій галузі (AUSIAS, CAPITALS, CONCERT, CLEOPATRA, COSMOS, EUROSCOPE, TABASCO) були спрямовані на вивчення поведінки транспортної мережі та на визначення оптимальних стратегій управління.

В рамках європейських проектів використання інформаційних та навігаційних систем можливо продемонструвати на прикладі міст:

– Брістоль (CONCERT): TFIS для кращого використання системи Park and Ride;

– Брюссель (CAPITALS): TFIS для складової частини вищестоящої системи управління транспортними потоками в тунелях на внутрішньому кільці міста [3];

– Лондон (CLEOPATRA): визначення впливу TFIS, при виявленні місць ДТП, на вибір водіями шляху руху по мережі доріг і ефективність транспорту в мережі [14];

– Ліон (CLEOPATRA): інформаційна стратегія для TFIS в

автоматичному режимі при використанні даних, отриманих на основі вимірів проведених на мережі доріг;

- Мюнхен (TABASCO): TFIS для Park and Ride;
- Пірей (COSMOS): стратегія зміни напрямку руху транспортних потоків в районі морського порту [14];
- Саутгемптон (EUROSCOPE): інтегроване виявлення місць ДТП і управління стоянками [14];
- Тулуза (CLEOPATRA): загальна стратегія зміни напрямку руху транспортних потоків;
- Турин (CLEOPATRA): стратегія TFIS разом зі стратегією управління транспортними потоками в місті [14].

Інформація перед поїздкою і інформація на зупинках ГПОТ показали, що вони мають значний вплив на поведінку більшості пасажирів, тому що, в кінцевому рахунку, викликати невеликий, але помітне зростання кількості пасажирів. Інтеграція управління транспортом в місті, послуги ГПОТ та інформаційних систем в Турині привели до скорочення часу поїздки на громадському міському пасажирському транспорті на 14% і на 17% – на легкових автомобілях. Це призвело до зростання ГПОТ на 3% і загальне поліпшення рух транспорту в місті. Капіталовкладення в підсистему виявлення місць ДТП в системі управління транспортом в місті Саутгемптон доказово окупилися протягом одного року. Проте, окупність істотно залежить від методу і від швидкості виявлення ДТП.

Управління на в'їзді на магістральних дорогах зазвичай використовувалося в містах, де воно повинно було запобігти утворення заторів. Однак, затори дуже часто виникають на автомагістралях і на дорогах, що з'єднують міські райони. В такому випадку дуже важливою є інтеграція управління на в'їзді з загальноміською системою управління рухом транспортних потоків. Проект TABASCO демонструє управління транспортом на в'їзді (Ramp Metering), разом з транспортною інформацією і навігацією за допомогою TFIS, управлінням транспортом за допомогою оптичної сигналізації в Глазго. Метод Ramp Metering значно підвищив пропускну здатність доріг (5% – автомагістралі, 13% – міська мережа). Крім того, система привела до поліпшення поведінки водіїв, а, отже, і до зменшення кількості ДТП.

У міських умовах управління в залежності від навантаження має постійно зростаюче значення для підтримки задовільної мобільності, оскільки для керування транспортними потоками використовує різні телематичні підсистеми. Додаток даної системи містить управління на в'їзді в центральний район міста (проект CAPITALS) і техніку штучного інтелекту, з'єднавши управління на в'їзді і управління за допомогою світлофорів з системою надання інформації водіям і з транспортної і туристичної підсистем. Крім цього є можливість визначити тривалість часу руху і отримати інформацію про наявність вільних місць на стоянках. Зазначимо, що в США сформульовані основні етапи розв'язання проблем розвитку та впровадження АСУД: моделювання руху автомобілів та транспортних потоків єдина;

система навігації та інформації; електронна система вибору і маршруту; система надання допомоги водіям. Зазначені етапи реалізовувалися шляхом установки детекторів транспорту, інформаційних знаків і табло відображення актуальної інформації (світлодіодних, призматичних і т.п.), світлофорних об'єктів, об'єднаних в єдину мережу і керованих за допомогою Центру управління, в який передають необхідні сигнали на контролери і на керуючі елементи. В даний час вся мережа автомобільних магістралей, що примикають до великих міст (Чикаго, Детройт, Лос-Анджелес, Нью-Йорк і ін.), Оснащена АСУД. У США і Канаді велика увага приділяється взаємним зв'язкам міської системи з системою доріг і автомагістралей в приміських зонах. В якості прикладу можна навести міську мережу в Монреалі. В міську систему управління рухом транспортних потоків Монреаля входять і автомагістралі приміської зони, тобто приблизно до 70-100 км від міста. Як в містах, так і на трасах, дорожня мережа ІТС може бути різного ступеня складності. Конкретними прикладами реалізації АСУД можуть стати:

- Торонто, Канада: 75 світлофорних об'єктів управляються системою SCOOT. При порівнянні з відмінно складеним графіком тимчасового управління час поїздки знижується на 8%, кількість зупинок транспортних засобів зменшується на 22% і затримки транспортних засобів зменшуються на 17%. В результаті цього знижується витрата палива на 5,7%, що дає вельми позитивний екологічний ефект;

- Лос-Анджелес, Каліфорнія: нова керуюча система LADOT налічує 1170 світлофорних об'єктів та 4 590 детекторів, що використовується для оптимізації процесу управління. Вказується, що було досягнуто зниження споживання пального на 13%, на 41% зменшилася кількість зупинок транспортних засобів і на 16% скоротилися втрати часу;

- Чикаго, Іллінойс: пілотний проект оптимізації руху суспільного транспорту на основі АСУД ОРАС. Проект заснований на по-отже надання переваги автобусам на перехрестях, в результаті чого підвищується швидкість руху автобусів на 25-50%. Передбачається, що в результаті цього, міський пасажирський громадський транспорт буде більш привабливим і одночасно буде знижена екологічне навантаження, тому що буде скорочено кількість автобусів при збереженні інтервалів;

- Вірджінія: міністерство транспорту в Вірджинії інвестувало значні кошти в будівництво експериментальної автомагістралі, що проходить через кілька міських районів. Остання оснащена сучасними комунікаційними засобами, починаючи з оптичних кабелів і закінчуючи радіомаяками. Вона забезпечує зв'язок між дорогами в приміській незабудованій зоні і в місті.

На сайті ERTICO – Європейської ІТС асоціації – наводяться численні приклади реалізації конкретних ІТС-систем в Європі. Настаєгодні склалася практика відносити АСУД до одного з поколінь розрахунків керуючих параметрів: їх введення в АСУД виконуються вручну; їх введення в АСУД виконуються автоматизовано. Зазначимо, що при цьому реагування на зміни транспортного потоку здійснюється з урахуванням їх динаміки за допомогою зміни наперед розрахованих таблиць (TR-метод); керуючих параметрів і

введення їх в АСУД автоматизовані. Управління проводиться в реальному, з урахуванням локальних змін транспортних потоків.

Відзначимо також, що "ключем" до цієї класифікації є метод розрахунку і закладення в периферійні пристрої керуючих параметрів. Це не означає, що інші функції АСУД не важливі. В сучасних умовах в центрі уваги при розробці АСУД знаходиться не стільки апаратура, скільки методи реагування на зміни транспортної ситуації.

Використання заздалегідь розрахованих планів координації (покоління 1-2) не дозволяє оперативно реагувати на випадкові зміни характеристик транспортних потоків, проте дуже ефективні в міських умовах з густою мережею доріг.

Перехід до систем 3-го і 4-го поколінь почався з 1980-го року. Не зупиняючись на конкретних реалізаціях керуючого алгоритму, відзначимо, що в ряді систем передбачена децентралізація роботи системи і передачі ряду функцій прийняття рішення на рівень керуючого пристрою (контролера) на перехресті. Саме подібні системи працюють в режимі реального часу і отримали назву АСУД з центрально-розподіленим інтелектом, представляють в даний час основний інтерес, як з наукової, так і з практичної точки зору. В даний час АСУД 3-го і 4-го поколінь встановлені в декількох десятках міст: в 53 містах Великобританії, в Мадриді, Гонконгу, Токіо, Торонто, Бордо, Бахрейні та інших містах.

Така найважливіша складова АСУД як система інформування учасників руху, з розвитком інтернет-мереж особливо глобально набула поширення. В даний час значна частина території, наприклад, США, або Франції охоплена інформаційними системами, які передають публіці кількісні дані про транспортні потоки в реальному часі.

В останні роки все більшого поширення знаходять системи прогнозування середньої швидкості і часу проїзду за маршрутами. Вони надають істотний вплив на перерозподіл транспортних потоків. У США діють різноманітні проекти розвитку систем управління дорожнього руху і інтелектуальних транспортних систем. Це такі проекти як FAST (Лас-Вегас) – управління рухом на швидкісних дорогах, SARAT (Північна Кароліна) – виявлення заторів і обмеження обсягів руху в заторових ситуаціях, TransStar (Х'юстон) – управління дорожнім рухом, SARAT (Меріленд) – інформаційне забезпечення дорожнього руху, ATCAS (Каліфорнія) – моніторинг характеристик транспортних потоків і облік руху на платних дорогах, Escort (Даллас) – управління дорожнім рухом, Navigator (Джорджія) – інформаційне забезпечення дорожнього руху, ATOMS (Dade county, Miami, Florida) – система менеджмента світлофорної "решітки" і паркувального господарства.

Система АСУД, що базується на поєднанні центрального погодного і адаптивного управління з використанням бібліотеки даних заздалегідь розрахованих ПК, введена у штаті Техас силами Техаського департаменту транспорту

У Канзасі розроблено стратегічний план розвитку ІТС, що орієнтовані на моніторинг характеристик транспортних потоків, створення

систем виявлення ДТП і управління в небезпечних ситуаціях; системи управління світлофорними об'єктами; інформування водіїв про оптимальні маршрути руху з урахуванням реальної ситуації. Проект передбачає включення в зону дії системи близько 400 км вулично-дорожньої мережі, на якій рух буде контролюватися за допомогою 516 транспортних детекторів, такої ж кількості відеокамер, 79 електронних табло з оперативною інформацією.

Для визначення оптимальної послідовності впровадження різних компонентів ІТС була проведена оцінка їх економічної ефективності. Технології ІТС, що мають найбільше значення показника "вигоди/витрати", будуть впроваджуватися в першу чергу. До короткострокових заходів, які забезпечили найбільший ефект, відноситься система виявлення ДТП. Середньострокові заходи включають системи управління в'їздом на швидкісні дороги та управління транзитним рухом. Що стосується довгострокових заходів, то вони спрямовані на заохочення альтернативних варіантів використання індивідуальних автомобілів та охорону навколишнього середовища.

Передовою країною в області розробок і використання вищих форм автоматизованих систем управління рухом є Японія. В цій країні існує єдина національна політика щодо використання найбільш комплексних систем управління рухом, керована і координована державними інститутами, а також тим, що існувало сильне прагнення зменшити затори, а, отже, зменшити і екологічне навантаження транспортом. Система розроблялася за п'ятирічними планами, і в даний час майже на всіх головних дорогах в містах та на більшості автомагістралей є транспортні інформаційні системи і широко використовуються навігаційні системи в транспортних засобах. Транспортні потоки у всіх великих містах управляються з міських центрів управління рухом.

В умовах надзвичайно сильно навантаженої транспортної мережі використовуються методи управління в режимі поточного часу (online). Наприклад, подібна до цього є система SCATS, розроблена в Австралії, і в меншій мірі англійська система SCOOT. У систему управління транспортними потоками online включено і управління ремонтом і утриманням автомобільних доріг.

Проблема з заторами знайшла відображення у відтоку пасажирських потоків з міського пасажирського громадського транспорту. Цілеспрямовано здійснюються капіталовкладення з метою підвищення привабливості цього виду транспорту. Головними засобами є пристрій спеціальних смуг руху, призначених тільки для автобусів міського пасажирського транспорту, системи інформування пасажирів на зупинках і в автобусах. Крім Японії та інших країн Азійсько-Тихоокеанського регіону цілеспрямовано вкладають кошти в розвиток систем управління. Для зонального керування транспортними контролерами використовується керуюча система SCATS, яка впроваджена у деяких містах Австралії. Ці питання взяті до уваги і в Південній Кореї. Тут ІТС впроваджуються в три етапи, які відповідають

затвердженій національній політиці в галузі транспортної стратегії:

- вибір і реалізація пілотного проекту даної програми за участю державних інститутів;
- кваліфікований аналіз пілотного проекту;
- розширення пілотного проекту на всій території країни з координаційною роллю держави.

Держава виконує функцію координатора, причому воно надає достатній простір для приватних інститутів, особливо при поступовому розширенні пілотного проекту.

Структура ІТС в м.Квашон (Південна Корея) включає в себе наступні основні підсистеми: управління дорожнім рухом, контроль швидкісного режиму, навігаційна система динамічного визначення маршруту, інформування пасажирів громадського транспорту, електронна оплата за проїзд, зважування транспортних засобів у русі, інформація про паркування, інформування водіїв. Електронна система оплати функціонує на швидкісній магістралі і, використовуючи технології інтелектуальних транспортних систем, працює в невинному режимі. Система інформації про парковки за допомогою електронних табло інформує водіїв про наявність вільних місць на певних стоянках. В єдину систему пов'язані шість парковок. Система інформування водіїв за допомогою радіоканалів і візуальної інформації повідомляє водіям ситуацію на мережі з тим, щоб вони могли завчасно скорегувати маршрут руху.

Широко застосовуються ІТС на Тайвані. Одним з компонентів ІТС тут є експертна система управління рухом на швидкісних магістралях. Система функціонує в реальному режимі часу і виробляє керуючі впливи при виникненні критичних ситуацій, таких як затори, дорожньо-транспортні пригоди, погіршення погодних умов та ін. Експертна система і модель управління в цих ситуаціях дозволяють визначити ефективність вироблених рішень в критичних дорожньо-транспортних ситуаціях. У реальному режимі часу на основі інформації про існуючої транспортної навантаженні система моделює параметри дорожнього руху і створює модуль оптимального динамічного розподілу транспортних потоків. Це дозволяє розробляти раціональні стратегії управління дорожнім рухом на мережі швидкісних доріг.

Експертна система має базу з багатьох можливих планів управління, кожен з яких адаптований до певної ситуації і ідентифікується за сукупністю класифікаційних ознак для кожної специфічної ситуації. Всі ситуації, які поставляються як класи об'єктів, що характеризуються типом небезпечної ситуації, наявністю технічних засобів управління рухом, геометричними характеристиками доріг, параметрами транспортних потоків. Співвідношення між об'єктами різних класів використовуються для вироблення поведінкових і керуючих рішень. Тому на основі вхідної інформації система автоматично представляє експертну інформацію про можливі керуючих впливах. У той же час оператор має всі можливості для коригування виробленої системи стратегії управління, аж до скасування представленого плану дій і введення

додаткових параметрів для повторення процедури. Основою роботи експертної системи є результати постійного моніторингу характеристик транспортних потоків. Ці дані передаються в модуль прогнозування характеристик транспортних потоків.

Оскільки швидкість транспортного потоку в межах небезпечного значення і важлива тривалість небезпечної ситуації, то ці фактори є головними та слугують основою для визначення ефективних форм інформаційного забезпечення водіїв. У типових ситуаціях застосовується наступна градація: при відхиленні швидкості менше 10% надається попередження про потенційно небезпечну ситуацію, при відхиленні швидкості від 10 до 20% – вказівки про небезпечну ситуацію і рекомендований швидкісний режим, при відхиленні понад 20% - примусові заходи обмеження доступу на цю ділянку мережі. Експертна система обслуговує в цілому мережу швидкісних доріг Тайваню протяжністю близько 1000 км.

У Китаї існує комісія з управління розвитком досліджень ІТС, яка розробила програму загальної стратегії розвитку ІТС та перелік пілотних проєктів. У ці пілотні проєкти включені міські центри управління рухом та електронні системи оплати за користування транспортними засобами.

У співпраці з Європейським союзом і ERTICO складено програму, яка включає в себе наступні напрямки розвитку ІТС:

- експресна система перевезень вантажів з автоматизованим центром управління, системою електронного документообігу EDI, навігаційною системою на базі GPS, системою управління перевезеннями;
- система управління рухом на швидкісних магістралях із застосуванням ІТС для виявлення місць скоєння ДТП та системою електронної оплати за проїзд;
- міські системи управління дорожнім рухом;
- системи управління громадським транспортом з визначенням місця розташування автобуса, комп'ютеризацією диспетчерських функцій та моніторингом попиту на перевезення.

В цілому необхідно відзначити, що за кордоном більшість АСУД вже модернізовані і відповідають третьому поколінню, а також існують АСУД четвертого покоління. Це викликано як фактором високої вартості систем третього і четвертого покоління, так і відсутністю вітчизняних програмних і технічних розробок в цьому напрямку. Впровадження АСУД за кордоном здійснюється комплексно, на основі апробованих рішень в окремих регіонах.

Світовий досвід незаперечно доводить, що розвиток АСУД в сучасних умовах є одним з найбільш ефективних шляхів вирішення все складніших транспортних проблем, як в містах, так і на позаміських дорогах. Соціальна, економічна і екологічна ефективність АСУД проявляється в збільшенні мобільності населення, зниження втрат робочого і вільного часу, підвищенні ділової активності, зменшенні шкідливих викидів, зростанні ефективності перевезень і т.п. Найважливішою складовою є підвищення безпеки, зниження кількості інцидентів і порушень правил, що забезпечується спеціальними підсистемами, що контролюють поведінку учасників руху і події на дорогах.

Разом з тим впровадження сучасних АСУД є складним технологічним процесом, що вимагає як фінансових витрат, так і високої кваліфікації розробників, будівельників і відповідних служб експлуатації. Фінансові та інтелектуальні ресурси будуть витрачені неефективно, якщо системи АСУД не відповідатимуть своєму призначенню, визначеному з урахуванням специфіки місцевостей, де вони впроваджуються. Тому питання розробки обґрунтованих технічних вимог до АСУД є найважливішим, особливо для України, де є значна нерівномірність у розвитку транспортних інфраструктур по регіонах.

9.4 Система та ієрархічна структура управління потоками в інтелектуальних транспортних системах

При побудові архітектури управління транспортом передусім слід провести декомпозицію проблеми, перерозподілу транспортних засобів на ділянках маршрутів. Слід вибрати підсистеми, які будуть формувати єдине телематичне рішення. Для спрощення проблеми визначають функціональні та інформаційні зв'язки і вибирають задовільну стратегію управління.

Існуючий поділ міської системи управління транспортними потоками виходить з класичного підходу до транспортних пристроїв управління. Зазвичай спостерігається триступенева ієрархія, коли на найнижчому рівні працює перехрестя зі світлофорами. На даному рівні управління транспортним потоком вибирають пристрої типу master, які керують або синхронізують кілька підлеглих пристроїв управління типу slave. Типовим застосуванням є так звана "зелена хвиля", коли мова йде про пристрої керування транспортним потоком, включених послідовно.

На другому рівні дані від/до пристроїв управління зазвичай концентруються. Це зменшує вимоги до каналів зв'язку між вищим центром управління і пристроєм. На даному рівні можливо користування приєднаних світлофорів. Це свідчить про те, що концентратор даних замінено локальною транспортною або центральною станцією. На третьому, найвищому рівні працює комп'ютер, який обробляє дані і за допомогою концентраторів веде зв'язок з пристроями управління. На даному рівні зазвичай використовується і диспетчерський нагляд, який контролює роботу автоматизованої системи управління і який за допомогою диспетчерів здатний реагувати і на надзвичайні події в транспортному потоці або на інші надзвичайні вимоги.

Перший рівень в ієрархії міських систем утворений окремими транспортними вузлами. У найпростішому випадку транспортним вузлом є світлофор на перехресті так само, як і закриті паркування, локальні застережливі пристрої, що обмежують швидкість транспортного потоку, система управління і т.п. Завжди мова йде про відносно закриті вузли, утворені транспортними детекторами і виконавчими елементами, якими можуть бути сигнали світлофора або керовані дорожні знаки і автоматизована система управління. Локальна система управління з такою концепцією має певні функціональні зв'язки та інформаційний зміст по відношенні до інших

транспортних вузлів або до вищестоящих центру.

Транспортна система в міській агломерації утворена транспортними вузлами, які створюються щодо відповідності до закритих топологічних комплексів, які утворені завжди технологіями однакового типу. Окремі технологічні комплекси можуть також знаходитися в будь-якому місці міста. Топологічним комплексом є пристрої керування транспортними потоками в певному виділеному районі міста, де між пристроями управління є взаємні зв'язки. Є системи управління рухом і в автотранспортних тунелях або пристрої управління стоянками типу Park and Ride, які представляють однакові технології, розташовані де завгодно в межах міста. Тому визначення другого рівня, який представляє собою управління на рівні області, підрозділяється на управління топологічними або технологічними вузлами, спрощена схема наведено на рис. 9.5.

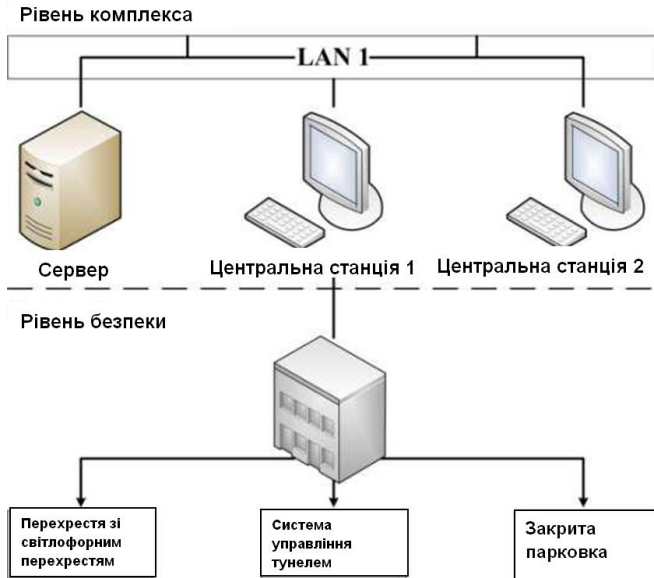


Рисунок 9.5 – Ієрархічна структура міської системи управління рухом транспортних потоків

З точки зору процедур управління, на даному рівні в найпростішому випадку використовується тимчасове управління, що знаходиться в області світлофорними об'єктами. Не спостерігається реагування на миттєвий стан транспортного потоку. Тому частіше використовуються транспортно-залежне керування в сучасних телематичних системах, а також методи адаптивного управління.

З точки зору управління, принципове значення має і конфігурація транспортних вузлів. Відносно простим випадком є розташування вузлів в лінії, для якої можна відносно легко знайти алгоритми управління, оскільки оптимізація стосується тільки поширення згустків транспортних засобів в одному або в обох напрямках. Більш складним є керування транспортними засобами з вузлами, розташованими на площі, що є типовим для міської агломерації.

В такому випадку слід вибирати відносно складні процедури оптимізації типу методу TRANSYT, які здатні охопити багатонаправлений рух транспортних засобів в мережі. Топологічна область далі ділиться з точки зору розташування вузлів на плоску і лінійну конфігурації.

На третьому рівні інтегровані окремі області центральних пунктів управління світлофорними об'єктами, тунелями, паркувальними системами і т.п. При проектуванні системи управління комплексом використовують інтегровану систему управління транспортними потоками Integrated Traffic Management (ITM). Важливим є створення єдиної архітектури й забезпечення взаємодії всіх систем. Для телематичної керуючої системи характерним є те, що будь-яка інформація може бути доступною в будь-який час і в будь-якому місці мережі. На даному рівні використовуються системи управління в разі наявності транспортних заторів або надзвичайних ситуацій, а також відбувається слідкування телевізійними системами. Зазвичай системи працюють в автоматичному режимі з можливістю ручного втручання диспетчера. Значну допомогу при управлінні у разі надзвичайних ситуацій надають експертні системи, які допомагають вирішити або автоматично вирішують проблеми в надзвичайних ситуаціях. При цьому комплексом може бути не тільки мережа вузлів і областей пунктів в міській агломерації, але і система управління автомагістралями на території країни, в т.ч. і система перевезення небезпечних вантажів (RISC management) на міжнародному рівні.

9.5 Сучасні інтелектуальні системи підвищення безпеки дорожнього руху

Проекти, спрямовані на підтримку систем безпеки для водіїв, які реалізовані в різних країнах світу, свідчать, що є можливість істотно знизити кількість аварій підвищити ефективність перевізного процесу. Одним з основних проектів це "Інтелектуальна автомагістраль". Навантаження, пов'язане зі збором інформації і передачею її водієві, бере на себе, в основному, інфраструктура, створена вздовж доріг. Зазначене обумовлює, що не треба обладнати кожен автомобіль комплексною технікою.

Автомагістраль в цьому випадку покрита телекомунікаційної середовищем, яке дає можливість збирати метеорологічні, транспортні та інші дані в будь-якій частині автомагістралі і після їх обробки в центрі передавати їх водіям у формі поточної інформації або у формі наказів керованих дорожніх знаків та інформаційних дисплеїв. Телекомунікаційна середовище може бути бездротовим або може бути утворене мережами LAN або WAN.

Для діючої системи AHS (Automated Cruise-Assist Highway Systems) слід створити необхідну інфраструктуру і здійснити наступні заходи:

1. Моніторинг стану проїжджої частини дороги (фізичних умов), моніторинг стану транспортного потоку і можливих перешкод (затори, дорожньо-транспортні пригоди).

2. Обробка інформації в центрі керування рухом.

3. Передача інформації водію: в індивідуальному порядку в його автомобіль або інформація розповсюджується по всьому транспортному потоку.

4. Виконання заходу: автоматичні системи в транспортному засобі або вручну за допомогою водія. Інформація про нестандартні умови руху передається водію з вищого транспортного центру управління. Інформацію отримують шляхом вимірювань (інтенсивність, швидкість, утворення ожеледі, вода на проїзній частині дороги, відстань видимості) або за допомогою відеоспостережень. Зростаюче значення набуває і мовна інформація: повідомлення поліції, сервісних організацій або повідомлення інших водіїв. У транспортному центрі інформація обробляється і передається водієві за допомогою інформаційної системи в автомобілі, системами зв'язку: системи DSRC або RDS-TMC. Для транспортного потоку використовуються інформаційні табло та керовані дорожні знаки.

Телематика стосується не тільки питань найбільш ефективного перевезення пасажирів та вантажів, але у великій мірі і аспектів забезпечення безпеки руху на дорогах. Поняття безпеки дуже широке. В секторі міського пасажирського громадського транспорту (МППТ) мова йде про системи контролю з використанням відеокамер, розташованих в транспортних засобах та зупинках. Системи контролю дають можливість швидко реагувати в разі небезпеки для пасажирів або екіпажу транспортних засобів. Зазначимо, що інтелектуальні перехрестя попереджають водія про рух транспортного засобу в небезпечному напрямку, що проїжджав на червоний сигнал. Добре опрацьовані системи використовуються для підвищення безпеки сліпих пасажирів, які користуються різного роду зв'язком з пристроями управління світлофорами або одиницями МППТ.

Системи ліквідації наслідків ДТП після їх виникнення або і надання допомоги в небезпечних ситуаціях використовують пристрої для визначення місця розташування найчастіше на базі супутникових навігаційних систем і засоби радіозв'язку. Рятувальні команди використовують оптимальний маршрут руху до місця події. У більшості випадків передбачена можливість дистанційного моніторингу стану потерпілого в транспортному засобі. Лікар в лікарні може дистанційно керувати діяльністю рятувальної команди і одночасно заздалегідь підготуватися до вирішення даної ситуації.

Активізацію сигналу тривоги можливо здійснити вручну водієм, натиснувши на кнопку тривоги, або автоматично, використавши датчик ідентифікації подій (Crash Sensor), або в результаті спрацьовування подушки безпеки. Дані кнопки тривоги, спільно з відеокамерами найчастіше встановлюються на зупинках громадського транспорту. Одним з

найпростіших способів підвищення безпеки пасажирів в критичних ситуаціях є надання допомоги пасажиром у разі відмови транспортного засобу і надання їм подальшої транспортної інформації.

У кожного водія є можливість встановити комплект "вільних рук", що складається з мобільного телефону, дводіапазонної комбінованої антени GPS-GSM і простого електронного пристрою. Пристрій реєстрації процесу події сучасні засоби захисту автомобілів містять також пристрій електронної реєстрації події. Вона служить не тільки для більш точного визначення процесу аварії, але його дані можуть служити і для поліпшення конструкції автомобілів. Транспортний засіб обладнано кількома датчиками, виходи яких з'єднані з пристроєм запису. Реєструються всі дані руху транспортного руху: швидкість, прискорення в поздовжньому і поперечному напрямках, напрямок руху, а також дані про режим роботи: число оборотів, кут повороту керма, стан фар, стан всіх індикаторів. Далі є в розпорядженні запис звуку, що знімається мікрофоном в транспортному засобі, і запис зображення простору перед транспортним засобом, що знімається камерою.

Одним із серйозних порушень правил дорожнього руху є проїзд керованих світлофорами перехресть на червоний сигнал. Наслідки ДТП, викликаних цими водіями, є дуже серйозними, тому що в більшості випадків мова йде про бічному зіткненні на великій швидкості, з важкими наслідками у вигляді тяжких поранень і навіть смерті.

Підсистеми ІТС забезпечують можливість створення діючої системи контролю та покарання, заснованої на установці апаратури індикації та реєстрації проїзду на червоний сигнал на найбільш навантажених перехрестях.

Мова йде про два датчика присутні у транспортних засобах, які за допомогою логічних функцій з'єднані з сигналом "Проїзд заборонено", про цифрового запису і про інфраструктуру зв'язку, що дозволяє передавати зняте зображення в центр. На підставі зроблених фотознімків оформляють виклик для оплати штрафу або водій, який порушив основні правила дорожнього руху, буде покараний іншим чином. Перший датчик бажано розташовувати безпосередньо перед стоп-лінією, а другий – в просторі перехрестя за стоп-лінією в напрямку руху. У більшості випадків використовуються вузькі і чутливі датчики на базі п'єзоелектричних елементів. П'єзоелектричні датчики у вигляді кабелю прямокутного перетину, довжина яких приблизно дорівнює ширині смуги руху, встановлені в полотні дороги або розташовуються на поверхні полотна дороги. Під впливом тиску коліс в кабелі виникає імпульс напруги (п'єзоэффект), який далі обробляється. Детектор працює динамічно, тобто реагує тільки на рухомий транспортний засіб, причому він реагує на вісь транспортного засобу.

Найбільшою частиною причин ДТП є невідповідність швидкості руху в даних місцевих умовах. Одним з аргументів є та обставина, що позначення ситуації дорожнім знаком іноді є недостатнім і водії такий знак не приймають до уваги або його просто не враховують. Для запобігання такого негативного явища або, принаймні, його максимального обмеження все частіше

використовуються динамічні системи, засновані на датчиках, що вимірюють швидкість. Керовані дорожні знаки, які застерігають водія від небезпеки або його інформують про те, що він порушує правила дорожнього руху. Ця система працює не за принципом репресії, її мета – тільки попередити водіїв, які порушують правила, і дати їм можливість не порушувати правил. Загальний досвід показує, що такі заходи психологічні дуже ефективні.

З технічної точки зору транспортні датчики, що використовуються засновані на різних принципах: пара петель індукції, інфрачервоні датчики, мікрохвильові датчики і відео-датчики. Керовані дорожні знаки або пристрої транспортної інформації відрізняються різним виконанням:

Знаки, які використовують світлопроводи, утворені галогенними джерелами світла, що випромінюють світло в оптичні волокна, число яких доходить до 350. Волокна є скляними, проте в ряді випадків використовуються пластмасові волокна. Світводи оконцовані спеціальною лінзою. За допомогою матриці утворюється алфавітно-цифровий напис або графічний символ. Природно, символ створений заздалегідь, причому на одній матриці розміром 1000 x 1000 мм можна при використанні методу комп'ютерної оптимізації, що відобразить до 15 світлових дорожніх знаків. Напівпрозоре дзеркало на вході оптичної системи дає можливість розділити світловий потік на два пучка світловодів, для збільшення в два рази світлового потоку в одному пучку. У керованих дорожніх знаках майже виключно використовується один пучок з двома лампами розжарювання, причому одна з ламп є запасною і включається при відмові робочої лампи. Для перемикання використовується електронний перемикач, який одночасно направляє до вищої систему інформацію про те, що лампа вийшла з ладу. Завдяки такому рішенню, термін служби керованого знаку збільшується вдвічі, причому середній час між двома відмовами в залежності від типу галогенних ламп розжарювання, становить від 16 тис. до 24 тис. год.

Технологія світлодіодів заснована на використанні світлодіодів LED, які безпосередньо встановлені в матриці і утворюють відповідний дорожній знак. Як техніка світловодів, так і техніка світлодіодів мають своє обґрунтування, і обидва способи будуть використовуватися в системах ITS. Загалом можна сказати, що світловоди повинні використовуватися переважно в ряді знаків, використовуваних для підвищення безпеки і для управління транспортом при високій швидкості транспортних засобів. З іншого боку, знаки на базі світлодіодів доцільно використовувати для інформаційних систем, або на дорогах зі зниженою швидкістю руху, тобто у містах. Розробляючи знаки зі світлодіодами враховують температурну залежність світлодіодів. Враховуючи, що світлодіода діода зменшується з підвищенням температури. Оскільки діод являє собою напівпровідниковий прилад з допустимою температурою кристала 100°C, необхідно передбачити охолодження, щоб внаслідок високих значень температури не зменшувався термін служби діодів, який в оптимальних умовах становить до 100 000 год.

У деяких особливих випадках, коли потрібно відображати числа в заданих межах, наприклад, від 10 до 100 км/год., жодне з вищеописаних

рішень не є задовільним, оскільки в обох випадках можна відображати тільки попередньо підготовлені символи на матриці. Тому використовуються дисплеї, здатні відобразити будь-яку цифру. У більшості випадків використовуються елементи з двома станами, які перекидаються під впливом електричного імпульсу. У той час як активна поверхня покрита світловідбиваючим шаром, пасивна поверхня – чорна. Таким чином, за допомогою світлодіодів можна створити дисплеї, здатні відобразити будь-яку цифру.

В якості попереджувальних пристроїв керовані дорожні знаки в використовують символ "50", виконаний за допомогою світловодів. Керований дорожній знак "50" встановлюється на відстані 120 м. перед покажчиком з назвою міста, і в 120 м. перед знаком встановлена пара індуктивних петель для вимірювання швидкості руху. Для оцінки ефективності знака на відстані приблизно 20 м. після знака встановлена ще одна пара індуктивних петель, що вимірює швидкість при в'їзді в місто.

Результати впливу інформації про обмеження максимальної швидкості до 50 км/год. незаперечні (табл. 9.1).

Таблиця 9.1 – Вплив застережливого пристрою на дотримання знаку, що обмежує швидкість

Швидкість	Пристрій вимкнено	Пристрій увімкнений
До 50 км/год.	8.6%	65.1%
До 60 км/год.	32.4%	27.1%
До 70 км/год.	36.0%	6.3%
До 80 км/год.	17.1%	1.2%
До 100 км/год.	5.9%	0.3%
Більше 100 км/год.	0.4%	0.0%

Якщо застережливе пристрій вимкнено, то тільки 41% водіїв в'їжджають в місто зі швидкістю нижче 60 км/год., а при включеному попереджає знаку їх кількість збільшується до 92%. Це очевидний результат дії динамічної інформації.

При в'їзді в місто, використовуються попереджувачі системи і керовані знаки в разі небезпечних поворотів, які водій проходить на надмірно високій швидкості. Вони також використовуються перед небезпечними перехрестями. Використовують не тільки, що обмежує швидкість, але і такі знаки: "Небезпечний поворот – направо/наліво"; "Небезпечні повороти – з першим поворотом направо/наліво"; "Слизька дорога".

Основою системи АНС є: отримання достовірної транспортної інформації, інформації про погодні-кліматичні умови і про перешкоди руху в межах контрольованої дорожньої мережі. Датчики розташовані у критичних точках транспортної мережі, для вимірювання фізичних величин на дорозі. Вимірюються наступні величини: температури поверхні проїжджої частини дороги та внутрішніх шарів дорожнього покриття; температури повітря, опадів, утворення роси, сонячного випромінювання та інших

величин. Зазначені дані попередньо обробляються і передаються до місцевого центру управління рухом, а оцінка проводиться автоматично. Крім того, що водій отримує інформацію про стан дороги (вологе покриття проїжджої частини, обмерзання), або про метеоумови, дана інформація використовується також центрами управління доріг, які можуть завчасно вжити необхідних заходів щодо догляду за дорогами. Відносно простими, але більш дешевими є пристрої вимірювання метеоумов: температуру, вигляд і кількість опадів та видимість. Ці пристрої також повинні бути з'єднані з місцевими центрами управління рухом.

Основна причина ДТП полягає в тому, що водій не здатний повністю зосередити свою увагу на управлінні автомобілем і виявляє перешкоду в самий останній момент, коли він вже не може зупинити автомобіль або здійснити відповідний маневр. Крім перешкод, що обумовлюють стояти транспортні засоби, мова йде і про ізольовані перешкоди, типу стороннього предмета на дорозі (втрачений вантаж) або стоїть транспортний засіб на проїжджій смузі або в її безпосередній близькості.

З огляду на те, що здійснювати моніторинг кожного метра дороги технічно неможливо, інформація виходить в більшості випадків за допомогою мобільних телефонів від проїжджаючих водіїв, працівників сервісних організацій та рятувальних служб. Для забезпечення функції такого виду системи необхідно розробити організаційну і робочу схеми, які покладають відповідальність і вирішують взаємодії оперативних підрозділів і диспетчерських центрів. Зазначимо, що пункти SOS є складовою частиною інтелектуальної автомагістраллю. При цьому забезпечується швидкий і прямий зв'язок учасника руху з диспетчером та вирішення складних ситуацій.

Вдалим технічним рішенням є також використання моніторингу ССТV. Сучасні камери з можливістю розвертатися і збільшувати масштаб зображення можуть повністю автоматично відстежувати великі ділянки доріг. Деякі більш часові системи, крім того, здатні автоматично визначити та ідентифікувати сторонній предмет, що знаходиться на дорозі. Зазначимо, що автоматична ідентифікація ДТП важлива для інформування осіб, причетних до розслідування обставин ДТП, а також щоб можна було швидко викликати рятувальну команду і організувати рятувальні заходи. Вона є важлива і для інших учасників дорожнього руху, які могли б в'їхати в область небезпеки. Для обмеження цієї небезпеки необхідно події вчасно ідентифікувати та інформувати водіїв, що під'їжджають до місця події. Важливим, з точки зору безпеки, є також своє-тимчасове виявлення заторів. Однак в даному випадку з'являється додатковий фактор, що полягає в тому, що затори можна попередити або хоча б їх обмежити вищими формами регулювання транспортного потоку.

Проблематикою ДТП займається і Європейський Союз (ЄС). Опубліковано документ "Towards Fair and Efficient Pricing in Transport" – "Зелену книгу", в якій наводяться дані про втрати суспільства в результаті надзвичайних ситуацій на дорогах. Відзначається, що втрати від заторів складають 2,5%, від ДТП – 1,5% і від забруднення навколишнього повітря

вихлопними газами – 0,6% від валового національного продукту, що являє собою загальну суму в розмірі близько 250 млрд. євро. Тому ЄС і конкретно дирекція DGIII підтримують проекти, які повинні сприяти ідентифікації цих явищ. Зазначимо, що пілотний проект AVS-TDC (Advancer Video Surveillance-Time to Destination Calculation) було реалізовано на автомагістралі E17 в Бельгії між містами Гент і Антверпен. Шестисмугову автомагістраль довжиною близько 8 км з трьома в'їздами і чотирма з'їздами контролюють 15 відеокамер. В проекті перевіriamo надійність і швидкість алгоритмів ідентифікації транспортних ситуацій.

Останнім часом все більше можливостей надають засоби детектування, оскільки алгоритми для зупинки транспортного засобу введені у власний пристрій (Tracking Track). Транспортні затори є причиною втрат, які в світовому масштабі становлять мільярди доларів. Мова йде не тільки про економічні втрати, викликані нерівномірним рухом, а й про втрати людських життів. Не можна не враховувати збільшення стресового стану водіїв при такому стані транспортного потоку. Рівномірність руху надає пряму позитивну дію на екологію і психічний комфорт водія.

9.6 Деякі тенденції розвитку систем інтелектуальних автомобілів

Компанія Nissan розробила четверте покоління інноваційного безпечного автомобіля (Advanced Safety Vehicle) Nissan ASV-4. Основним завданням системи є зниження кількості аварій за допомогою інноваційної технології комунікації між автомобілями. Компанія Nissan буде використовувати Nissan ASV-4 для тестування різних технологій для підготовки їх впровадження в комерційне використання. Система попередження Nissan ASV-4 використовує комунікації між автомобілями V2V для попередження водія, з тим щоб він встиг вжити відповідних заходів в ситуації, коли автомобіль, що наближається ще не видно, але є потенційною загрозою безпеці на дорозі.

Узагальнені дані про транспортні аварії показують, що більшість подій відбувається при наступних обставинах: зіткнення двох автомобілів на "сліпому" перехресті; зіткнення на перехресті автомобіля, повертає направо, з автомобілем, наступним по зустрічній; повертає ліворуч автомобіль зачіпає боком велосипед або мотоцикл; наїзд ззаду – водій буде чути і бачити застережливі сигнали, які посилає навігаційною системою, якщо система визначає потенційно небезпечну ситуацію.

Система допомоги при водінні, розроблена General Motors (GM), і названа V2V (vehicle-to-vehicle), дозволяє автомобілям обмінюватися інформацією один з одним без будь-якої участі водія. Система V2V створює між автомобілями бездротову мережу, по якій передаються дані про їх місцезнаходження і швидкості. Крім того, система безперервно аналізує ці дані і може допомогти уникнути ДТП, заздалегідь попередивши водія про потенційно небезпечної ситуації, створеної іншими автомобілями. До основних апаратних засобів V2V відносяться: мікропроцесор, приймач

сигналів GPS (супутникової системи навігації) і бездротовий модуль передачі даних по високошвидкісній мережі LAN. Автомобілі з системою V2V з'єднуються один з одним точно так же, як ноутбук з "хотспот" в аеропорту або кафе. В основі лежить та ж технологія бездротового з'єднання з мережею Wireless Local Area Network (WLAN) і протокол IEEE 802.11. Ідея системи V2V – обладнати WLAN-передавачем і приймачем кожен автомобіль, щоб змусити машини обмінюватися між собою інформацією. Оскільки дальність Wi-Fi обмежена, то кожен автомобіль виступає маршрутизатором, пересилаючи дані далі адресату. Алгоритм маршрутизації залежить від місця розташування конкретної машини і дозволяє швидко реагувати на зміни конфігурації всієї мережі.

Дальність дії WLAN-передавача – близько трьохсот метрів, але автомобілі можуть з'єднуватися в ланцюжки, утворюючи "випадкову мережу" (ad-hoc network). Обмін даними відбувається миттєво (кожне повідомлення має розмір близько кілобайт) – навіть в районах з щільним рухом мережу V2V без перевагнення може накривати відразу близько двохсот автомобілів. Плюс кожен модуль виступає не тільки як приймач-передавач, але і як "переносник" інформації. Наприклад, отримавши на безлюдному шосе повідомлення від зустрічної машини, система V2V може зберегти його в буфері і передати наступному зустрічного, який попадеться лише за кілька кілометрів.

Автомобілі визначають власне місцезнаходження за сигналами супутників GPS, і обмінюються з іншими автомобілями цими даними, а також іншою інформацією: наприклад, про швидкість руху, прискорення або дорожніх умовах. Сьогодні автомобілі можуть бути оснащені численними датчиками систем безпеки, зокрема, датчиками-радарами, з'єднаними з системою круїз-контролю або датчиками, що визначають наявність предметів в "мертвій зоні" автомобіля. Завдяки системі V2V, фахівці GM зуміли підвищити робочий діапазон і зону покриття окремих датчиків, створивши більш ефективний і недорогий спосіб забезпечення всебічного спостереження і оцінки умов, що оточують автомобіль.

Інженери GM продемонстрували переваги нової технології на кількох практичних прикладах.

1. Попереду знаходиться нерухомий автомобіль. Система попереджає водія, якщо автомобіль зупинився на узбіччі дороги, наприклад, через поломки. Навіть якщо нерухомий автомобіль знаходиться поза того ряду, до якого рухається інший автомобіль (тобто, немає безпосередньої загрози зіткнення), то система попереджає водія автомобіля, що наближається. Так відбувається ще до того, як стане можливим візуальний контакт. Таким чином, водій заздалегідь буде знати про потенційно небезпечної ситуації.

2. Попередження про екстрене гальмування. Включення аварійної світлової сигналізації при раптовому гальмуванні, довго залишалося загальноприйнятим прийомом, і кілька років тому було узаконено. В даний час "пульсуючі" стоп-сигнали, які швидко блимають при інтенсивному гальмуванні, вже з'явилися на серійних автомобілях.

3. З'явилася можливість більш ефективного попередження - завдяки системі V2V, яка швидко повідомляє водіям, що їдуть заді, про небезпечну ситуацію, що дозволяє їм знизити швидкість. Це відбувається дуже рано, ще до того, як водій побачить небезпечну зону. У цьому випадку також використовується символ, який виводиться на дисплей.

4. Попередження про безпеку зіткнення з автомобілем, який знаходиться попереду. Ще один сценарій описує аварійну ситуацію, яка може виникнути в пробці або при поломці автомобіля на дорозі без узбіччя: автомобіль зупиняється або рухається дуже повільно, створюючи небезпечну ситуацію для транспорту, який йде позаду. Завдяки системі V2V, водій автомобіля, що наближається до джерела небезпеки за тим же ряду, бачить на дисплеї попередження про можливе зіткнення. У міру наближення автомобіля ззаду, задні ліхтарі нерухомого автомобіля швидко блимають, а звуковий сигнал і вібрація сидіння попередять водія автомобіля, що наближається. У цей момент у нього все ще залишається достатньо часу, щоб зреагувати: загальмувати або, при необхідності, виконати маневр об'їзду.

5. Попередження про наявність автомобіля в "мертвій зоні". Функція допомоги при зміні смуги руху попередить водіїв про наявність автомобіля в "мертвій зоні" – це дуже важливо для безпеки в умовах все більш інтенсивного транспортного потоку на багаторядних дорогах. Візуальний сигнал попередить водія, якщо інший автомобіль рухається в зоні, яка не видно в зовнішньому дзеркалі заднього виду. На відповідній стороні кузова включиться світлодіод, вбудований в передню (А) стійку даху або в корпус дзеркала заднього виду. Сигнал стане більш інтенсивним, якщо після цього водій створить потенційно небезпечну ситуацію, включивши покажчик повороту у відповідному напрямку, маючи намір змінити ряд руху. При цьому світлодіод блимає, а сидіння водія – вібрувати (з відповідної сторони). Крім того, система бере до уваги швидкість кожного з автомобілів: чим швидше рухається автомобіль, який виконує обгін, тим раніше буде подано попереджаючий сигнал.

6. Попередження про наближення автомобіля, коли водії чують сирену автомобіля служби екстреної допомоги. При цьому нерідко їм важко буває визначити, з якого боку рухається цей автомобіль – особливо в умовах міського руху. Часто сирену заглушає гучне звучання автомагнітоли в салоні. Тому водії не знають точно, чи повинні вони звільнити дорогу для проїзду автомобіля екстреної служби. За допомогою системи V2V водії отримують не тільки інформацію про місцезнаходження і напрямку руху таких автомобілів, але і можуть прийняти прямі вказівки, наприклад, "Притисніться до правого боку!", "Звільніть проїзд між другим і третім рядами!" Це дозволить значно зменшити час у дорозі для автомобілів аварійних служб і, можливо, підвищить шанси постраждалих на порятунок і екстрену допомогу.

7. Попередження про зону дорожніх робіт. Кожному водієві знайома така ситуація: на центральній розділювальній смузі косять траву, і при цьому живаються заходи безпеки; зокрема, в кількох сотнях метрів за косаркою слід службовий автомобіль з великою стрілкою, що вказує напрямок об'їзду, і

миготливими ліхтарями. Але все ж часто трапляється, що безтурботний водій вдаряє такий автомобіль ззаду і стає винуватцем серйозної аварії. Небезпека такого зіткнення знижується, якщо службовий автомобіль передає застережливий сигнал, який відображається на дисплеї автомобілів, наступних ззаду, наприклад: "Лівий ряд зайнятий. Проїжджайте справа". При довгострокових дорожніх роботах також може передаватися аналогічний сигнал, а також інформація про відповідний обмеження швидкості на час, поки водій проїжджає через зону проведення робіт.

8. Попередження про небезпеку зіткнення на перехресті. Чи не переглядаються перехрестя, до того ж не обладнані світлофорами (наприклад, на заміських дорогах), є особливо небезпечними, тому що тут водії можуть відволіктися або не помітити один одного до тих пір, поки вже не буде занадто пізно. Система V2V дозволяє автомобілям встановити зв'язок між собою до того, як вони опиняться в зоні прямої видимості, і попередити обох водіїв про майбутній зіткненні. У їх розпорядженні виявиться час, достатній, щоб загальмувати автомобіль або виконати маневр об'їзду. Якщо таким чином уникнути зіткнення неможливо, то система V2V може навіть автоматично загальмувати один або обидва автомобілі.

Фахівці GM навмисно створили систему V2V на основі недорогих, перевірених на практиці компонентів, щоб вона потенційно могла увійти до переліку базового обладнання багатьох автомобілів. Це дуже важливо, оскільки подібні системи працюють тим ефективніше, чим більша кількість автомобілів ними оснащено. Труднощі цієї системи полягають у відмінностях допустимих частот для каналів зв'язку V2V. Наприклад, в Америці уряд зарезервував для автомобільного радіообміну потрібний діапазон – шириною 75 МГц навколо основної частоти 5,9 ГГц. А в Європі існуючого діапазону 10 МГц мало – для роботи V2V потрібен канал в 20-30 МГц.

Системи, засновані тільки на інформації, одержуваної від власне інтелектуального транспортного засобу, називаються внутрішніми або автономними. Можна їх також назвати закритими системами. Сьогодні на легкових і вантажних автомобілях широко застосовуються системи для підвищення активної безпеки. Це системи підвищення стійкості, такі як ABS (антиблокувальні), ESP (electronic stability control) – підвищення поперечної стійкості), Brake assist – система допомоги при екстремому гальмуванні, а також такі системи, як adaptive cruise control (ACC) (адаптивний круїз контроль), forward collision warning (FCW) – системи попередження зіткнень, системи догляду з смуги руху – lane departure warning (LDW) і системи виявлення сліпої зони – blind spot detection (BSD) і ін.

Система виявлення "сліпої зони" BLIS (Volvo) складається з відеокамер, які роблять по 25 кадрів в секунду, встановлених на зовнішніх дзеркалах заднього виду і комп'ютера, який розпізнає потрапляння об'єктів в ці зони, розміром 3 x 9,5 м кожна.

У разі небезпечного зближення система запалює жовтий світлодіод в салоні – поруч з правим або лівим дзеркалом відповідно. У той же час багато внутрішні (закриті) системи можуть служити джерелами корисної інформації

для зовнішньої інфраструктури. Наприклад, інформація про спрацювання системи автоматичного включення двірників може бути використана для уточнення прогнозів погоди. Спрацювання системи ESP може сигналізувати про слизькому дорожньому покритті, а ця інформація корисна для інших учасників руху і дорожніх служб. Сам транспортний засіб є джерелом важливих даних, які можуть служити для багатьох інших цілей (управління міським транспортом, управління автомагістралями і т.п.). Крім інформації від самого транспортного засобу можна використовувати і дані, які зберігаються в пристрої інтелектуального транспортного засобу (цифрова карта на CD (DVD), масиви даних, що зберігаються в автокомп'ютері і т.д.). Внутрішні системи інтелектуального транспортного засобу іноді називаються також малою телематикою. Зв'язок транспортного засобу з навколишнім середовищем називається великий телематикою.

Система підвищення безпеки пішоходів з використанням стільникового зв'язку. В Японії пішоходи і велосипедисти є учасниками ДТП в половині випадків. Ці події відбуваються в основному, коли пішоходи знаходяться в "сліпий" зоні або на вузьких дорогах і перехрестях, коли обмежена їх видимість водієм. Фірма Nissan Motor Co., Ltd і NTT DoCoMo, Inc. провели дослідження системи, яка визначала позицію пішохода за допомогою мобільного телефону, обладнаного GPS навігацією, а також положення автомобіля з навігаційною системою і попереджала водія про наявність пішоходів поблизу маршруту руху. Для передачі сигналів використовувалася система стільникового зв'язку. Сервер отримує сигнали від мобільних телефонів, автомобілів, обчислює їх взаємне положення і передає оброблені дані в навігаційну систему автомобіля, попереджаючи водія. Водій отримує попередження на дисплеї і голосове повідомлення про наявність пішохода.

Інформація про стан транспорту необхідно врахувати. У рамках цих систем транспортний засіб приймає інформацію про актуальний стан транспорту. Найбільш простий і найбільш поширеною є система RDS-TMC, яка, однак, надає тільки основні загально-доступні послуги. Інформація про транспорт надається зазвичай безкоштовно автоклубами та іншими добровільними організаціями автолюбителів. Якість інформації можна порівняти з якістю інформації радіомовлення. Перевагою системи RDS-TMC є миттєва передача інформації водієві. Інформація, яку надає за допомогою платних служб, повинна містити якісні дані. Для досягнення необхідної якості транспортної інформації необхідно встановлювати датчики транспорту, здійснювати моніторинг транспортної ситуації за допомогою спеціальних вимірювальних автомобілів і т.п. Інформаційні системи надають не тільки інформацію про транспорт, а й, наприклад, інформацію про вільні місця в готелі, інформацію про вільні місця на парковках і т.п. Можна припускати, що більшість інформаційних послуг надаватиметься водієві за допомогою мереж операторів мобільного телефону або за допомогою протоколу WAP.

Сигнал SOS. Нова система Volvo On call автоматично включається або при спрацюванні подушок безпеки, або при аварійному натягу ременів

безпеки. Далі, використовуючи канали стільникового зв'язку, система посилає сигнал на пульт служби безпеки Volvo On Call. Одночасно з цим надсилаються і координати автомобіля, зафіксовані вбудованою навігаційною системою GPS. Після отримання сигналу оператор служби Volvo On Call намагається зв'язатися з водієм постраждалого автомобіля по каналу стільникового зв'язку і з'ясувати подробиці аварії. Якщо ж відповісти йому ніхто не може, він висилає на місце аварії спеціальну рятувальну групу. Система Volvo On Call дуже надійна. Стільниковий телефон був розроблений з урахуванням можливих пошкоджень при аварії і має дублюючі антену і джерело живлення. Координати автомобіля при русі постійно записуються в "чорний ящик", звідки інформація може бути взята навіть при пошкодженні системи навігації.

Системи допомоги водієві для безпечного водіння – Driving Safety Support Systems (DSSS). Ці системи допомагають водіям транспортних засобів отримати інформацію, яку буває важко сприйняти в ускладнених транспортних умовах (сигнали транспорту, дорожні знаки і т.д.). Ця інформація передається різними системами в автомобіль від дорожньо-транспортної інфраструктури:

1. Системи, яка допомагає водіям вчасно побачити червоний сигнал світлофора. Вона визначає швидкість руху автомобіля, порівнює з можливістю включення червоного сигналу світлофора й посилає попередження водієві.

2. Система Smartway зменшує можливість ДТП на швидкісних магістралях. В ній використовуються датчики, комунікації системи "дорога-автомобіль", сучасні технології ІТС попередження водіїв про наявність заторів, аварій на дорозі і т.д.

3. Системи розпізнавання дорожніх знаків. При цьому спеціальна відеокамера обробляє зображення попереду автомобіля, розпізнає дорожні знаки і проектує зображення знака обмеження швидкості на лобове скло автомобіля за допомогою "віртуального дисплея".

4. Системи нічного бачення, яка дає можливість на підставі найсучасніших технічних рішень забезпечувати хорошу видимість в сутінках і в темноті. Основою таких систем є термокамери, які замість оптичного сигналу знімають дані про температуру об'єктів. Визначено, що системи здатні надійно розпізнавати пішохода, тварин або інші живих перешкод. Відеоінформація і її обробка безумовно будуть основою майбутньої концепції інтелектуального автомобіля. В даний час методи обробки відеоінформації не перебувають на такому рівні, щоб можна було всі додатки реалізувати в реальному часу. З огляду на темп розвитку техніки можливо вважати, що автомобілі протягом декількох років будуть оснащенні такими системами.

5. Система нічного бачення з функцією визначення пішоходів компанії Toyota. Система Night View може забезпечити в умовах поганої видимості можливість водієві побачити пішоходів, перешкоди та стан дороги перед автомобілем. Спеціальні інфрачервоні джерела світла висвітлюють невидимими для ока променями дорогу перед автомобілем. Образи,

відображені інфрачервоними променями обробляються в інфрачервоній камері і показуються на рідкокристалічному дисплеї. Образ пішохода на ньому виділяється жовтою миготливою рамкою.

6. Системи попередження зіткнень – Pre-crash Safety System (PSS). В системі використовуються радары, які працюють на міліметрових хвилях і камери. Радар сканує простір перед автомобілем, а електронний блок обчислює швидкість зближення з перешкодою (лідуючим автомобілем). При порушенні дистанції безпеки система попереджає водія, а при необхідності активує гальмівну систему. Якщо зіткнення неминуче - система активує переднатягувачі пасків безпеки, можуть активуватися і інші системи автомобіля для зниження можливих пошкоджень при аварії. Насьогодні з'являються системи з декількома радары, сканують простір як перед автомобілем, так і на бічних виїздах на перехрестя, чим попереджають про можливість фронтально-бічного зіткнення. Радар, встановлений ззаду, може допомогти в разі наїзду ззаду транспортного засобу. Для зниження тяжкості наслідків такої аварії, зазначимо, що система активує в автомобілі управління сидіннями, встановлюючи їх в найбільш безпечне положення.

Висновки по розділу 9

1. Визначено, що транспортна система України мають забезпечувати максимальну ефективність функціонування транспортної-дорожнього комплексу шляхом підвищення якості задоволення потреб економіки і населення в безпечних і ефективних транспортних послугах за рахунок будівництва нових ділянок доріг і впровадження технологій організаційного управління транспортною системою з використанням сучасних інформаційно-телекомунікаційних, телематичних та інтелектуальних технологій.

2. Показано, що інтелектуальна транспортна система є сукупною системою, яка об'єднує в єдиний технічний і технологічний комплекс підсистем організації дорожнього руху, забезпечених його безпеки, а також подання інформаційного сервісу для учасників його безпеки, а також надання інформаційного сервісу для учасників дорожнього руху і потенційних суб'єктів транспортного процесу. Оперативним завданням інтелектуальної транспортної системи є здійснення і підтримка можливості автоматизованої і автоматичної взаємодії всіх транспортних суб'єктів в реальному часі на адаптивних принципах, а ключовим – комплекс дорожньо-транспортної, транспортно-технологічної, транспортно-сервісної та інформаційної інфраструктури. Передбачена функція – функція диспетчерського, оперативного і ситуаційного координування взаємодії залучених служб, відомств та інших суб'єктів з створенням регіональних диспетчерських центрів.

3. Зазначено, що при створенні інтелектуальних транспортних систем можливе використання європейського досвіду, який полягає в реалізації ряду організацій або програм. Вказано, що найбільший вплив у сфері технічного

регулювання також систем мають три світові системи стандартизації: ISO – міжнародна організація по стандартизації; CEN – Європейський комітет зі стандартизації; ITS Standards of Program – японська система стандартизації. На поточний момент в Україні інтелектуальні транспортні системи не регламентуються жодним державним стандартом.

4. Визначено функції інтегральних транспортних систем і за рахунок чого забезпечується функція інтелектуальності. На технічному рівні інтелектуальні транспортні системи мають розподільну елементу архітектури: на транспортних засобах і інфраструктурі як підсистеми. Розглянуто склад цих елементів та різних підсистем. Виділено поняття прикладної архітектури транспортних систем, до якої включається комплекс підсистем, що визначається в процесі проектування локальної інтелектуальної транспортної системи. З'ясовано основні структурні елементи функціональної архітектури інтелектуальних транспортних систем, яка визначає модульну структуру.

5. З'ясовано ієрархічну структуру інформаційної архітектури інтелектуальних транспортних систем, яка складається з п'яти шарів. Дано характеристику кожному з них. Надано увагу фізичній та комунікаційній архітектурі, визначено конкретні фізичні рішення та комунікаційних елементів і програмне забезпечення, сукупність датчиків та виконавчих елементів. Зазначено, що фізична архітектура розділяє транспортну телематику на дві підсистеми: робота на транспортному шляху і керування транспортними підсистемами. Ці підсистеми поділяються на модулі та програми. Така архітектура створена в США для автомобільного транспорту, який є складовою частиною інтермодального і мультимодального транспорту.

6. Показано, що інтелектуальні транспортні системи в Україні розвивається у двох напрямках: підвищення пропускної спроможності транспортної мережі та підвищення безпеки учасників дорожнього руху. Детально розглянуто реалізацію підсистем інтелектуальної транспортної системи в забезпеченні організації та безпеки дорожнього руху через автоматизовані системи управління дорожнім рухом. Зазначено базові функції, а також основні завдання цих підсистем. В цьому напрямку розглянуто проект COMFORT, проекти реалізовані в рамках допомоги Європейським Союзом: AUSIAS, CAPITALS, CONCERT, CLEOPATRA, COSMOS, EUROSOCPE, TABASCO. Розглянуто їх сукупність та основні завдання.

7. Розглянуто особливості управління потоками в сучасних інтелектуальних транспортних системах на прикладі міської системи управління транспортними потоками з тривірневою ієрархією. Зазначено, що при цьому виходячи з класичного підходу до транспортних пристроїв управління з їх вибором типу master та slover, а типовими застосуванням є "зелена хвиля", коли мова йде про пристрої керування транспортним потоком, включених послідовно. На другому рівні дані від пристроїв управління зазвичай концентрується і концентратор даних замінено локальною транспортною центральною станцією. На третьому, найвищому рівні працює комп'ютер, який обробляє дані за допомогою концентраторів здійснює зв'язок

з пристроями управління. Диспетчерський нагляд, який використовується при цьому контролює роботу автоматизованої системи управління і за допомогою диспетчерів реагує на надзвичайні події в транспортному потоці.

8. З точки зору процедур управління в найпростішому випадку використовується тимчасове управління, що знаходиться в області світлофорних об'єктів. Принциповим при цьому є конфігурація транспортних вузлів. Більш складним є управління транспортними засобами з вузлами, розташованими на площині, що є типовим для міської агломерації. Доцільним при цьому є метод TRANSVIT, здатний охопити багато направлений рух транспортних засобів в мережі. Топологічну область, з точки зору розташування вузлів поділяють на: з плоскою та лінійною конфігурацією.

9. З'ясовано, що з розвитком транспортної телематики керуюча система міста є системою управління транспортом на перехрестях за допомогою світлофорів. Реалізація підсистем інтелектуальної транспортної системи в забезпеченні організації та безпеки дорожнім рухом, а також з використанням інтегрованої системи управління транспортними потоками, які працюють в автоматичному режимі з можливістю ручного втручання диспетчера. З'ясована і роль експертних систем, які допомагають вирішити проблеми в надзвичайних ситуаціях.

10. Сучасна інтелектуальна система підвищення безпеки дорожнього руху базуються на системі AHS, для якої слід створити необхідну інфраструктуру і здійснити ряд заходів. Зазначено при цьому роль телематики у переведенні пасажирів, вантажів та забезпечення безпеки руху на дорогах. Зазначено, що підсистеми інтелектуальної транспортної системи забезпечують можливість створення діючої системи контролю і покорене, заснованої на установці апаратури індукції та реєстрації. З технічної точки зору транспортні датчики засновані на різних принципах, пара петель індукції, інфрачервоні датчики, мікрохвильові датчики і відео-датчики. Використовуються при уходу і керовані дорожні знаки та пристрої достовірної транспортної інформації, які мають різне виконання на світлопроводів, світлодіодів та світловолоконистої техніки.

11. Висвітлені деякі тенденції розвитку систем інтелектуальних транспортних засобів та інтелектуальних транспортних технологій. В основу покладено розробки компанії Nissan, яка розробила інноваційний автомобіль четвертого покоління Nissan ASV-4, компанії General Motors, яка розробила систему V2V, яка дозволяє обмінюватись інформацією автомобілям один з одним без будь-якої участі водія. Ідея системи V2V полягає в обладнанні WLAN-передавачам і приймачем кожен автомобіль, щоб запустити їх обмінюватися інформацією. Завдяки системі V2V, фахівці GM зуміли підвищити робочий діапазон і зону покриття окремих датчиків, створивши ефективний і недорогий спосіб всебічного спостереження і оцінки умов, що оточують автомобіль. Виділено ряд переваг такої транспортної технології на конкретних практичних прикладах.

12. Виділені основні труднощі системи V2V. Це передусім відмінності допустимих частот для каналів зв'язку. Інтелектуальний транспортний засіб

розглядається як внутрішні або автономна система інформації. Зазначено, що для підвищення стійкості і керованості використовуються системи: ABS (анти блокувальна); ESP (поперечної стійкості); Brake assist (екстреного гальмування); ACC (адаптивного круїз-контролю); FCW (попередження зіткнень); LDW (догляду зі смуги руху); BSD (виявлення сліпої зони). Проаналізовано транспортні інформаційні системи RDS-TMC, протокол WAP, системи Volvo On call та DSSS (Driving Safety Support Systems) – система допомоги водієві для безпечного водіння, Smart way (інтелектуального розуміння шляху), Night View (нічного бачення), Precrash Safety System (система попередження зіткнень).

РОЗДІЛ 10. ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ В УКРАЇНІ

10.1 Сутність проблем виробничих систем на прикладі виробництва зернових сівалок з підвищеною ефективністю

Ефективність функціонування виробництва – головна вимога, якій повинна задовольняти будь-яка виробнича система [1]. Дослідження і розробка зернових сівалок потребують комплексного підходу до вирішення різного роду проблем і завдань, пов'язаних з ними: технічних, біологічних, соціальних і технологічних питань. Тому основним методологічним принципом є системний підхід, тобто визначення доцільності тих чи інших змін машин з урахуванням взаємозв'язків функціонування деталей їх систем і агрегатів. Це дозволить, послідовно вивчивши природу зв'язків, розробити і прийняти найбільш раціональні рішення, спрямовані на підвищення ефективності функціонування в експлуатації технічних засобів та машин, які виробляють [2].

Оцінка ефективності проводиться за критеріями ефективності – ознаками, на підставі яких здійснюється порівняльна оцінка можливих рішень. Вибір і формулювання критеріїв ефективності – головне питання порівняльної оцінки рішень в дослідженнях і розробці машин. При цьому необхідно зіставлення різнорідних критеріїв і величин, а також розробка універсальних показників для оцінки. Прийнято вважати [3], що найбільш точним і об'єктивним показником, що характеризує рівень розвитку технічного засобу, є його годинна продуктивність.

До такого показника належить і максимальна продуктивність. Основна роль в оцінці ефективності техніки полягає у вирішенні завдання спрямованого на досягнення максимальної продуктивності, але слід звернути увагу на ступінь недооцінки інших показників. Важливим для виробничих систем є не тільки одержання максимального обсягу продукції, але і підвищення його якості, забезпечення безпеки відносно забруднення і руйнування природного середовища, зниження витрат енергії [4]. Тому при дослідженні ефективності техніки і технологій необхідно враховувати зазначені фактори. Це дозволить всебічно оцінити ефективність та перспективність прийнятих технічних рішень.

При системному підході в процесі формалізації функціонування висіваючої системи визначається кінцеве число суттєвих властивостей, які визначають її специфіку. Тому структурна схема (рис.10.1), що характеризує ефективність посівних машин може виступати у вигляді набору зв'язаних змінних (факторів), що визначають деяку цільову функцію ефективності зернових сівалок:

$$E = f(x_1, x_2, x_3, x_i, \dots, x_n), \quad (10.1)$$

де x_i – її критерії та показники.



Рисунок 10.1 – Структурна схема основних факторів та показників, що визначають ефективність роботи зернових сівалок

Аналіз зазначених чинників дає можливість визначити вид показників, критеріїв та коефіцієнтів, якими визначається цільова функція ефективності.

Згідно роботи [5], тенденції розвитку сільськогосподарської техніки (СГТ) показують, що в принциповій основі більшість машин протягом 15...20 років практично не змінюються. Незважаючи на зростання робочих швидкостей машинно-тракторних агрегатів (МТА), є можливість використовувати активний запас потужності, а не пасивний резерв техніки й підвищити продуктивність і зменшити експлуатаційні витрати. За межами визначених значень швидкостей порушується якість виконання технологічних процесів [6,7]. В результаті мало місце випереджаюче зростання енергонасиченості тракторів, в результаті чого знижувалась ефективність використання їх потужності через відставання ефективних значень робочих швидкостей сільськогосподарських машин (СГМ). Це необхідно було компенсувати шляхом завантаження трактора по тяговому зусиллю [3, 8-10]. Тому найбільш вірогідним резервом підвищення продуктивності на майбутні 20...25 років приймалося збільшення ширини захвату [11]. Збільшення енергонасиченості тракторів обумовило поширення одержували широкозахватні сівалки, як у вигляді секційних агрегатів, так і окремих машин [12, 13].

Насьогодні можливі системний аналіз і оцінка наслідків протягом екстенсивного способу підвищення продуктивності збільшенням ширини захвату посівних машин. В той час довільне збільшення розмірів зернових сівалок призводить до значного збільшення їх маси, зниження паливної економічності, трудомісткості обслуговування, нестійкого режиму роботи і лише незначно підвищує продуктивність праці [14-16]. Із збільшенням ширини захвату також погіршується копіювання нерівностей ґрунту сошниками посівних машин [17].

Відомо, що ефективність широкозахватної машини визначається зростанням продуктивності, яка повинна випереджати збільшення її маси [15, 18, 19]. Продуктивність 12-рядної сівалки на 21.9...36.6% вище, ніж продуктивність 8-рядної сівалки, однак таке зростання продуктивності забезпечується непропорційним збільшенням маси машини. Підвищення продуктивності сівалки тільки за рахунок збільшення ширини захвату не може забезпечити ефективність машини [15, 20]. Для цього необхідно реалізувати пропорційне зниження енерговитрат і матеріаломісткості [21, 22]. Тому для забезпечення ефективності, зростання продуктивності машини повинно випереджати збільшення її маси, а, отже, і вартості машини. Виявлено, що маса і ціна сівалки пов'язані з шириною захвату параболічною залежністю, а продуктивність – лінійною [18].

Відмінності між показниками чистої і експлуатаційної продуктивності та одночасного переуцільнення ґрунту, обумовлене збільшення маси машин призводить до підвищеного ступеня буксування тракторів, складності стикування суміжних проходів агрегату, а також труднощів при копіювання рельєфу ґрунту. Деякі резерви підвищення продуктивності і поліпшення якості роботи традиційної СГТ можуть бути реалізовані за допомогою автоматизації, проте цей шлях при збереженні традиційних технологій і технічних засобів вимагає розробки складних і дорогих автоматизованих систем.

Не можна забувати і ті важливі обставини, що техніка агропромислового виробництва (АПВ) працює 20...30 днів в році, а решту часу простоє на консервації. При підвищенні продуктивності машин має місце парадоксальне явище: чим продуктивніше машина, тим більше "заморожується" праці і коштів. Відомо, що відрахування від балансової вартості машин збільшують собівартість продукції. Це означає, що у розвитку технічних засобів переважає екстенсивний фактор. В результаті виникає несприятлива тенденція зниження віддачі виробничих фондів [19].

Збільшена ширина захвату сівалки вимагає підвищення потужності трактора в МТА. Встановлено, що з її збільшенням понад певної межі непропорційно зростають виробничі витрати. Однак підвищення робочих швидкостей МТА також вимагає створення енергонасичених тракторів, у яких максимум тягового коефіцієнта корисної дії (ККД) зміщений у бік високих швидкостей [3]. Є необхідність зниження енерговитрат у робочих процесах машин і знарядь при роботі зі звичайними тракторами. При цьому потрібні рішення, що забезпечать зростання продуктивності і зниження вартості робіт. Необхідні принципово нові конструкції висівних робочих органів для подолання наявних негативних тенденцій [15, 18, 23].

Для нових зернових сівалок, що випускаються європейськими виробниками, характерним є збільшення продуктивності за рахунок підвищення робочої швидкості руху, при збереженні високої якості роботи. У той час як американські конструктори, удосконалюючи широкозахватні посівні комплекси, все більше уваги приділяють підвищенню якості загортаючої системи насіння [23].

Середньостатистична швидкість посіву в Україні становить близько 7...8 км/год., але сівалки зарубіжних виробників, таких як Amazone або John Deere, можуть сіяти зі швидкістю 14км/год. і швидше, не втрачаючи якості посіву. Це дозволяє скоротити агротехнічні строки виконання польових робіт, зменшити втрати вологи шляхом скорочення міжопераційних проміжків часу, економити паливно-мастильні матеріали (ПММ) і менше ущільнювати ґрунт [24].

Вдосконалення висівних апаратів і сошникової групи дозволяє підвищити робочу швидкість зернових сівалок до 15 км/год., Однак стан полів у період посіву не тільки обмежує можливість підвищення швидкостей, але і не дозволяє стабільно використовувати можливості створених посівних машин. Тому зберігається стійка тенденція підвищення продуктивності за рахунок збільшення ширини захвату [25].

10.2 Існуючі критерії ефективності зернових сівалок за конструкцією і робочим процесом

Застосування сучасних технологій у АПВ передбачає не тільки підвищення врожайності та поліпшення якості продукції, але й зменшення затрат енергії за рахунок точного виробництва і зниження витрат праці та коштів. Визначено, що на вирощування і збирання зернових культур 6...8% припадає на роботи, пов'язані з сівбою, яка є одним з ресурсномістких технологічних процесів. Зниження витрат на виконання даної технологічної операції має значення. Від строків проведення посіву і його якості багато в чому залежить майбутній урожай. Тому важливо не тільки посіяти зернові культури своєчасно та якісно, але і знизити витрати, в тому числі й енергетичні [26-28].

В цьому напрямі виникли принципові труднощі, до яких, в першу чергу, відноситься прискорене зростання витрат енергії на одиницю продукції. Тільки за останнє сторіччя коефіцієнт ефективності вкладення одиниці техногенної енергії в ґрунт зменшився з 4 до 1.5 [29]. Підвищення врожайності основних зернових культур в 2.5...3.0 рази супроводжувалося зростанням питомих витрат антропогенної енергії в 10...15 разів і більше. Якщо в подальшому подовжити підвищення продуктивності традиційними методами, то землеробство в Україні перетвориться в дуже енергоємну галузь [30, 31]. Сучасний стан вітчизняного виробництва СГТ характеризується нераціональним набором технічних, технологічних і енергетичних засобів і малим коефіцієнтом корисного використання. При цьому приріст продукції на 1% обумовлює збільшення витрат енергоресурсів на 2...3% [32].

Згідно роботі [33], енергетичний аналіз розвитку систем механізації виявив зменшення приросту виходу продукції в енергетичних одиницях $E_{вих}$ щодо вкладеної енергії $E_{вх}$ при повній механізації та вдосконалення технологій. При цьому, якщо витрати живої праці $Z_{ж}$ на одиницю отриманої продукції знижуються, то витрати праці, уречевленої в машинах і матеріалах Z_y , зростають. Зростання втрат енергії $E_{вт} = E_{вх} - E_{вих}$ зумовлене неповним

знанням механізмів явищ, неоптимальністю і невпорядкованістю процесів, відсутністю оперативного управління процесами і системного підходу при розробці технічних засобів механізації СГВ.

Ця закономірність характерна і для приросту виробництва продукції на одиницю вкладеної енергії. Це пояснюється зростанням енерго- і машиноємності виробництва, зниженням ККД систем "виробництво-техніка-технологія", а також відставанням росту продуктивності посівних площ. Надбавка кожного відсотка продукції досягається збільшенням енерговитрат на 2.5...3.6%, а зростання врожайності в 2...3 рази супроводжується зростанням витрат енергії непоновлюваних ресурсів в 10...15 разів на одиницю продукції. Середня енергоємність технологічних процесів, СГМ вітчизняного виробництва в 1.5...2.5 рази більше, ніж у їхніх закордонних аналогів [21, 34-40].

Актуальним в даний час є підвищення показника енергетичної ефективності сільськогосподарської продукції, який дорівнює відношенню вмісту енергії в сільськогосподарській продукції до величини енергії, витраченої на її одержання. Особливо високими є витрати енергії на техніку. Це стосується тракторів та сільгоспмашин, які орієнтовно становлять 20% загальних енергетичних витрат на одержання продукції [41]. Зокрема, в даний час енергоємність роботи зернових сівалок перевищує оптимальну та рівну 10...15кВт/м [42]. Це можливо пояснити екстенсивним шляхом виробництва та експлуатації технічних засобів.

З'ясовано, що основними напрямками зниження питомих матеріало- і енерговитрат на виробництво продукції та підвищення продуктивності праці є вдосконалення конструкцій робочих органів і машин в цілому, застосування нетрадиційних методів та підходів. Це може бути при розробці машин, створенні багатоопераційних універсальних комбінованих блочно-модульних агрегатів, переході до розробки переважно напівначіпних агрегатів модульного типу, що агрегуються з універсальними енергетичними засобами, підвищенні експлуатаційної ефективності, технологічності та надійності комплексів машин і знарядь, що забезпечують реалізацію перспективних технологій [43, 44].

Таким чином, в функції мети (10.1) енергоефективність та енерговикористання в зернових сівалках визначаються енерговитратами на роботу сівалки E_c , на функціонування висівної системи E_{ec} , а також коефіцієнтом корисної дії висівної системи η_{ec} .

Стосовно до оцінки ефективності СГТ пропонується значна кількість критеріїв, більшість з яких економічні. Серед них найбільш характерними є: мінімум часу на виконання робіт, мінімум капітальних витрат, мінімум прямих експлуатаційних витрат і балансової вартості машин, мінімум витрат живої праці, максимальна ефективність праці. Нерідко при оцінці застосовують не один загальний критерій, а цілу систему натуральних і вартісних показників [45-51].

Значимість набуває розробка критеріїв, що характеризують властивість модернізованих і новостворюваних машин, їх екстенсивному або

інтенсивному розвитку [19]. Ці економічні критерії в ряді випадків носять суперечливий характер, а при їх використанні оцінка зазвичай здійснюється в грошовому еквіваленті. Проте в сучасних умовах цього недостатньо через те, що економічні критерії піддані необґрунтованим коливанням і визначаються політикою ціноутворення.

Дослідження АПВ за напрямом енергоспоживання дозволило виявити, що більше половини палива, споживаного в цій галузі, використовують з низькою ефективністю [52]. В СГВ енергоємність має бути основним критерієм технологічності та конструктивності машин. В основі вирішення питань, пов'язаних з розробкою та обґрунтуванням технологій і застосуванням машин повинен бути принцип оптимальної енергоємності технологічних процесів і засобів механізації, сутність якого полягає в мінімалізації витрат енергії на отримання продукції [53].

Аналіз результатів енергетичних досліджень МТА показує, що поки немає узагальнюючих теоретичних розробок щодо методів зниження енергоємності машин і механізмів, недостатньо обґрунтовані і критерії оцінки енергетичної ефективності технологічних процесів. Використовувані критерії визначають лише конструктивну досконалість машин [54].

Крім того, для СГМ досі не виявлено уніфіковані критерії, залежності і математичні моделі, що визначають єдині шляхи і методи зниження енергоємності конструкцій і робочого процесу [55]. Існуючі методики оцінки технічного рівня машин недосконалі і не відповідають повною мірою вимогам практики, а більш прийнятні для різних оціночних комісій, ніж для практичної роботи конструкторів. Для оцінки технічного рівня і ефективності застосування машин пропонуються досить складні підходи, методи та критерії - структурні моделі та циклограми технічного рівня [56], узагальнені показники комплексної оцінки на основі функції Харрінгтона [57].

Стосовно принципу оптимальної енергоємності технологічних процесів і засобів механізації запропоновано кілька критеріїв ефективності конструкцій і застосування СГМ. В роботі [58] в якості критерію оптимальності пропонується використання мінімуму питомих енерговитрат при робочому ході МТА:

$$E \rightarrow \min . \quad (10.2)$$

Аналізуючи одиниці виміру цього критерію – Дж/м², встановлено, що критерій відповідає за змістом фізичній жорсткості k , кг/с². Тому його можливо інтерпретувати як реалізацію прагнення до зниження так званої жорсткості процесу, яка виражається приростом непродуктивних енерговитрат.

Аналогічний критерій пропонується в роботі [59], де розглядається відносна питома енергоємність робіт, виконуваних МТА:

$$E = \frac{N}{W} \text{ кВт/(га/год.)}, \quad (10.3)$$

де N – ефективна потужність двигуна енергетичного засобу, кВт; W – продуктивність машинного агрегату, га/год.

В роботі [60] розглядається критерій:

$$\frac{\eta_m}{P_{num}} \rightarrow \max, \quad (10.4)$$

де η_m – тяговий ККД енергетичного засобу; p_{num} – питомий опір сільськогосподарської машини, кН/м.

Всі економічні та енергетичні критерії є різновидами загального співвідношення між витратами і ефективністю, що є загальною підставою для пошуку і встановлення нових критеріїв ефективності.

Тому у функції (10.1) ефективність зернових сівалок доцільно розглядати на основі одного з відомих критеріїв (10.2)–(10.4) або запропонувати новий критерій ефективності k_e , що впливає з показників роботи зернових сівалок, які розглядаються в теоретичних і експериментальних їх дослідженнях.

Визначимо вид показників, критеріїв і коефіцієнтів, якими може бути описана і визначена функція ефективності (10.1). Ефективність конструкцій і робочого процесу зернових сівалок визначаються показниками ефективності, а цільова функція у кількісному відображенні зводиться до вигляду:

$$E = f(H, H_g, V, W_m, v, B, m_{num}, m_k, p_{num}, E_c, E_{ec}, \eta_{ec}, k_e, k_{mp}, I^{FS}, I_g). \quad (10.5)$$

Тому подальші дослідження спрямовані на аналіз динаміки зміни і розвитку критеріїв та показників у виразі (10.5), а також на визначення можливих шляхів і способів їх поліпшення.

10.3 Тенденції розвитку і вдосконалення посівних машин, висівних апаратів і систем на основі фізичних процесів, фізико-технічних методів та принципів інтелектуалізації

Розглянемо існуючі тенденції розвитку конструкцій висівних апаратів і систем зернових сівалок на основі принципів і закономірностей еволюції і інтелектуалізації розвитку та застосування нових технічних засобів для здійснення процесу висіву і їх взаємозв'язку з результатами досліджень в галузі. Зазначимо, що роботи проводяться як у напрямі вдосконалення та інтелектуалізації існуючих конструкцій сівалок, так і в напрямку пошуку нових технічних рішень [61-66].

Що стосується сучасних концепцій розвитку посівних машин, то інтерес викликає робота [56]. У ній запропоновано спосіб класифікації посівних машин на основі теоретичного розрахунку максимально допустимої технологічної швидкості подачі насіння.

Класифікацію машин першого покоління, підкреслює принципи використання в якості посівного матеріалу насіння культурних рослин. Ці

машини також подають в потік висіяного насіння стартову дозу мінеральних добрив. Перше покоління посівних машин являє собою систему, в якій посівний матеріал після висівачого апарата подається в сошник під дією гравітації. Їх застосовують при трьох рівнях інтенсифікації виробництва: екстенсивному, нормальному та інтенсивному, використовуючи в якості характеристики посівного матеріалу найнижчу класифікаційну одиницю культурних рослин – сорт.

Посівних машин першого покоління можуть бути віднесені до третього технологічного укладу, які базуються на законах механіки. Використовують вони для розрахунку елементів конструкцій; опису фізичних властивостей ґрунту, опису характеру руху насіння і добрив через дільник по трубопроводам і далі через сошник в ґрунт. а також визначення траєкторії руху елементів МТА по складному рельєфу поля.

При розгляді траєкторії переміщення насіння по трубопроводах до сошників відносно ґрунту, то вони рухаються з певною швидкістю по напрямку до ґрунту під дією сили тяжіння і при цьому переміщуються разом з МТА із деякою робочою швидкістю. Суму векторів швидкостей, прикладених до насіння і гранул добрив, виражають єдиним вектором швидкості, що визначає характер їх руху відносно поверхні ґрунту.

Перевищення робочої швидкості агрегату над швидкістю переміщення насіння у трубопроводі дає результуючу швидкість, достатню для рикошету насіння від поверхні насінневого ложа, що різко збільшує розкид по глибині загорання. Відбиваючі пластини в сошнику для розсіювання насіння значно знижують швидкість і переміщення під дією сили тяжіння та призводять до розкиду значень глибини загорання. Отже, продуктивність посівного агрегату залежить від швидкості його руху по полю, а її збільшення у машин першого покоління істотно знижує виконання агротехнічних вимог до рівномірності загорання насіння на встановлену глибину.

Друге покоління посівних машин являє собою пристрій, що здійснює подачу посівного матеріалу в сошник під впливом двох сил – тяжіння і повітряного потоку. Повітряний потік створюють для зменшення часу транспортування насіння до сошника, що дозволяє збільшувати швидкість руху сівалки а, отже, і продуктивність. Такі машини застосовують в технологіях з ґрунтозахисної обробкою. В якості посівного матеріалу використовують дражоване або капсульоване насіння гібридів. Наявність захисної оболонки дозволяє переміщати насіння по пневматичній системі без пошкодження і травмування.

При вирощування гібридів необхідне щорічне придбання насіння, вартість якого вище сортового насіння супереліти. Це обумовлює змінити не тільки ставлення до технологій, але і змушує забезпечувати більш точне розміщення посівного матеріалу по поверхні поля і глибині загорання, що ініціює дослідження і розробку машин. Відомо, що існуючі висівачі апарати незалежно від форми висівного елемента дають практично однакову рівномірність розподілу насіння вздовж ряду [67]. Тривалість раціонального періоду сівби не перевищує 5...7 днів, що накладає більш жорсткі вимоги до

надійності сівалок [1]. Перехід на такі технології почався після 1973р., тобто перше покоління технологій і посівних машин прогресувало до зазначеного періоду часу.

Розробка другого покоління посівних машин може бути умовно віднесена до четвертого техноукладу і базується на застосуванні законів механіки, електротехніки і гідравліки, використовуваних для розрахунку елементів конструкції. Системи автоматичного управління рухом по заданому алгоритму не допускають покриття або просівів. Потребує більш складного управління дозуючі пристрої, особливо в перехідні періоди. Зазначимо, що диференційований висів насіння здійснюється за допомогою гідромоторів, частота обертання яких регулюється автоматично електронними аналоговими пристроями. Гідромотори працюють на тракторах, в яких реалізована система нерозривної передачі потужності від двигуна до трансмісії.

Особливістю техніки другого покоління є наявність вертикальних колон, у верхній частині яких потік насіння і мінеральних добрив розподіляється по вторинним трубопроводами діляльною головкою. Управління технологічним процесом здійснюється за допомогою комп'ютера. Зазначимо, що комп'ютер слідкує за електромагнітною муфтою приводу висівних механізмів, надає сигнали про рівень насіння в ємностях, інформує оператора про показники повітряного тиску та двигуна трактора, а також показники продуктивності.

Третє покоління посівної техніки являє собою пристрої, що подають насіння в сошник під дією сил повітряного потоку. З'являється можливість пропорційно збільшити швидкість руху агрегату з метою підвищення його продуктивності, що пояснює тенденцію зростання швидкості руху посівних агрегатів в даний час. Але в цьому випадку використовують насіння генетично модифікованих рослин, тобто з захисною оболонкою. Для дражування використовують якісне насіння з високою енергією росту і схожість більше 90%.

Третє покоління посівних машин відрізняється від другого більш широким застосуванням інформаційних технологій і відповідає п'ятому техноукладу. Принциповою відмінністю тут є максимальна автоматизація, здійснювана на рівні комплексів, кожен з яких складається з автоматизованих модульних цифрових систем, об'єднаних єдиним операційним середовищем. Удосконаленням посівної техніки при цьому є автоматизація управління процесами. За допомогою програмного моделювання віртуально проектується робота посівного агрегату та завантажується розроблений сценарій комп'ютерні системи. Після цього комплекс здійснює запрограмовані операції, надаючи звіт про їх виконання в режимі реального часу. Збої та порушення в роботі агрегату можливо усунути з місця в кабіні або з офісу, якщо оператор посівного комплексу не вносить зміни шляхом коригування завантаженої програми.

Сучасну тенденцію побудови машин нового покоління полягає в перенесенні функціонального навантаження від механічних вузлів до інтелектуальних (електронних, комп'ютерних та інформаційних). Зазначимо, що

інтелектуальні вузли, на відміну від механічних елементів надають системі гнучкість, оскільки їх легко перепрограмувати під нове завдання. При цьому їх ціна постійно знижується, а функціональні можливості розширюються [68]. В той час виробники посівних машин віддають перевагу механічним рішеннями з підвищеною матеріало- та енергоємністю, але зі складними інтелектуальними системами управління.

Динамічні закони розвитку виробничих систем щодо технічних засобів АПВ [69], свідчить, що вони відображають їх розвиток під дією технічних і фізичних факторів, а також процеси функціонування і розвитку систем. При цьому відображаються головні тенденції розвитку виробничих систем в наш час. Привертає увагу розвиток виробничих систем, в яких спостерігається напрямок збільшення ступеня вепольності [70, 71].

Статистичний аналіз технічних рішень показав, що для підвищення ефективності технічних систем їх структура повинна бути виконана певним чином. Модель такої структури називається веполем [72]. Мінімально керована система у вигляді веполя складається з двох взаємодіючих об'єктів і енергії їх взаємодії [72].

Взаємодіючі об'єкти умовно позначаються " B_1 і B_2 ", а енергія взаємодії – полем і позначається " I ".

Вепольний аналіз містить в собі певні правила і тенденції, які підкоряються закону збільшення ступеня вепольності [73, 74]. Зміст цього закону полягає в тому, що невепольні системи прагнуть стати вепольними, а у вепольних системах розвиток іде в напрямку переходу від механічних полів до імпульсних, а також електромагнітних, збільшення дисперсності речовин і кількості зв'язків між елементами, що відповідає розглянутій тенденції, згідно якої імпульсні і електромагнітні поля отримують поширення у техніці АПВ. Автор роботи [75] визначає такі технічні засоби, як ті, що використовують додаткові зовнішні поля. Виходячи з напрямків вдосконалення, можна зробити висновок, що в даний час має місце тенденція вепольного розвитку висівних апаратів і систем.

Виявлено, що витрати на вдосконалення функціональних можливостей механічних систем вже себе не виправдовують. При цьому очевидно істотне уповільнення темпів зростання основних технічних характеристик і функціональних можливостей СГТ. Застосування електроніки дозволяє розширити і посилити функціональні можливості механічних систем і призводить до створення машин з новими можливостями. Стає очевидним, що тільки створення систем автоматичного управління і регулювання на базі мікроелектроніки і мікропроцесорної техніки, збільшення швидкості обробки інформації дозволить підвищити технічний рівень засобів механізації [76, 77].

При розробці нових машин переносять функціональне навантаження від механічних вузлів до інтелектуальних (електронних, комп'ютерних та інформаційних) компонентів, які легко перепрограмуються під нове завдання і є відносно дешевими [68]. Усе дозволяє мінімізувати механічну складність машин і агрегатів. На рис.10.2 представлений характерний графік,

який відображає динаміку цього процесу у виробничих машинах за 30 років, починаючи з 1970-х рр.

В даний час механічні пристрої все частіше стають вузьким місцем в складних машинах, оскільки недостатня їх функціональна гнучкість, наявність тертя в системі, люфтів і пружностей в передачах, а також зростаюча вартість. Тому відбувається поступове витіснення механічних вузлів електронними та комп'ютерними блоками. У деяких випадках обсяг функцій розподілено між механічними, електронними та комп'ютерними компонентами практично порівну, до чого необхідно прагнути при розробці нової техніки. При цьому частка комп'ютерної частини зросла за наступні 10 років удвічі, і є всі підстави прогнозувати збереження цієї тенденції в техніці майбутнього [68].

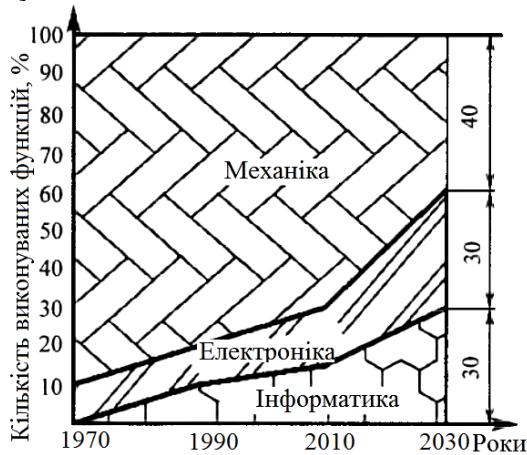


Рисунок 10.2 – Характер розподілу функціонального навантаження в сучасних виробничих машинах

Процес автоматизації слід розглядати у взаємозв'язку з електронізацією, яку розглядають як процес насичення машинних агрегатів електронною технікою для створення автоматизованих систем управління (АСУ). Основне завдання електронізації – створення систем ефективного інформаційного забезпечення процесів управління та прийняття рішень. Використання сучасної мікроелектронної техніки дозволить перевести реалізацію концепцій автоматизації та розвитку АПВ на якісно новий рівень [78].

Зазначене потребує необхідно завершення розробки єдиної концепції автоматизації з урахуванням сучасних досягнень науки і техніки, елементної бази електроніки, комп'ютеризації, інформатизації, а також погодження її з системою машин і перспективними технологіями.

В землеробській механіці формується теорія систем керування машинами, агрегатами і комплексами, тобто спостерігається нова землеробська технічна кібернетика [79].

Виходячи з вищезазначеного, очевидно, що в даний час переважають завдання, для вирішення яких потрібні якісно нові технологічні процеси і засоби виробництва. Створення машин і технологій, особливо починаючи з 1990-х років, йде на стик декількох науково-технічних напрямків і є відповіддю виробників на поставлені технологічні, техніко-економічні та функціональні вимоги.

Відмінність нового покоління виробничих технологій і машин полягає у використанні з високоточної механіки та комп'ютерного управління, інформаційних технологій і мікроелектроніки. Враховуючи принципову відмінність нових машин і технологій, сучасну фазу розвитку техніки можна віднести до п'ятого технологічного укладу. Технологічний уклад – це сукупність взаємопов'язаних виробництв, що мають єдиний технічний рівень і синхронно розвиваються. В деяких країнах вже перейшли до формування нового технологічного укладу, заснованого на використанні новітніх досягнень в області біотехнологій, генної інженерії, інформатики, нанотехнологій, нових видів енергії [80]. Необхідною умовою для цього є своєчасне створення доробку для становлення ядра нового технологічного укладу, а також випереджальна модернізація його несучих галузей.

Проте в даний час у порівнянні з іншими розвинутими аграрними країнами, вітчизняне сільськогосподарське виробництво ще недостатньо використовує технологічні, технічні, генетичні та інші досягнення науки і передового досвіду. З цієї причини рівень інтенсифікації галузі відстає від середньосвітових досягнень. Заводи випускають, в основному, морально застарілу техніку, розроблену 30...40 років тому. Через це у СГВ змушені застосовувати спрощені екстенсивні технології з використанням техніки третього, іноді четвертого технологічних укладів, розраховані на використання природної родючості ґрунту і які по продуктивності в 10...15 разів нижче, ніж у передових країнах світу. З цієї причини є неприпустимо великими втрати продукції, які стали негативним чинником економічних показників аграрної галузі [81, 82].

Передова аграрна наука повинна концентрувати зусилля на розробці машинних технологій нового покоління, оснащення машинно-тракторних парків технікою вищого технологічного укладу, що дає можливість при несприятливих погодних умовах істотно знизити вплив природних факторів, підвищити продуктивність і знизити витрати. Виробники сільськогосподарської продукції розвинених країн світу переорієнтовуються на використання мультиопераційної, комп'ютеризованої енерго- і ресурсозберігаючої техніки, що відповідає сучасним екологічним вимогам і дає можливість забезпечити біологічну та екологічну рівновагу. Слід зазначити, що високоінтенсивні ресурсозберігаючі технології базуються на стандартизованих, своєчасних, точних, ґрунтозахисних і екологічно безпечних технологічних операціях. Техніка п'ятого технологічного укладу повинна забезпечувати прецизійне інформаційне управління виробничими процесами вирощування, збору врожаю та його зберігання [81-84].

При цьому впровадження засобів автоматизації та елементів точного інформаційного землеробства є одним з найважливіших завдань створення техніки нового покоління і однією зі світових тенденцій, що визначають розвиток аграрної галузі [32]. Тому подальший розвиток технічного забезпечення повинен базуватися на створенні техніки 5-го і 6-го технологічних рівнів, насичених засобами інформатизації і комп'ютеризації. Її основна особливість полягає у автоматичній зміні режимів функціонування робочих органів на основі оперативної інформації для досягнення оптимального фазового стану оброблюваного об'єкта [85].

Розрахункова ефективність технічних засобів п'ятого покоління підтверджена з різних технічних і технологічних позицій. Це означає, що створення перспективної СГТ з використанням інноваційних рішень дає можливість суттєво, більш ніж на 35%, скоротити витрати на технічне оснащення в собівартості сільськогосподарської продукції і тим зробити внесок у підвищення рентабельності рослинництва [86].

10.4. Вибір інтелектуальних методів і методик аналізу показників ефективності виробництва зернових сівалок

Програма теоретичних досліджень показників ефективності виробництва зернових сівалок, висівних апаратів і систем передбачає вирішення трьох блоків завдань, згідно схеми структурної послідовності, відображеної на рис.10.3.



Рисунок 10.3 – Структурна послідовність теоретичних досліджень показників ефективності зернових сівалок, висівних апаратів і систем

В роботах [87-91] встановлено, що найбільш характерною закономірністю, що описує життєвий цикл розвитку різних типів об'єктів і процесів, обумовлений багатма складно взаємодіючими факторами на протязі великих інтервалів часу, є *S*-подібною (логістичною) кривою, яку доцільно розглядати у вигляді залежності між показниками експлуатаційно-економічної ефективності машин або виробничих процесів – ступенем підвищення технологічного ефекту, зростанням врожайності, продуктивністю машин і праці, зміною витрат коштів, металу, енергії у відповідності факторів: енергонасиченість, енерго- і фондоозброєність, капітальні вкладення. Зазначена загальна закономірність вказує на необхідність врахування того факту, що більшість механіко-технологічних і організаційних принципів, на яких побудовані машини або виробничі процеси, досягають у своєму розвитку значень показників ефективності, що близькі до граничних.

Щоб подолати об'єктивно виникаючі причини зниження ефективності машин, необхідно створити умови для переходу на наступний рівень технічного прогресу. Це може бути забезпечено за рахунок подальшого удосконалення робочих процесів, зміни механіко-технологічних принципів впливу на об'єкти обробки, компоувально-технологічних схем і базових параметрів машин [91].

Тому висувається наступна гіпотеза теоретичних досліджень: життєвий цикл розвитку і показники ефективності конструкцій і застосування зернових сівалок, побудованих на традиційних механіко-технологічних і організаційних принципах, в даний час визначаються логістичною закономірністю, або *S*-функцією. Поліпшення показників ефективності конструкцій і робочого процесу зернових сівалок можливе на основі зміни механіко-технологічних принципів дії висівних систем і компоувально-технологічних схем посівних машин.

Для кількісного підтвердження гіпотези теоретичних досліджень необхідне визначення динаміки і прогнозування значень показників, що характеризують конструкцію та робочий процес зернових сівалок, їх висівних апаратів і систем, а також визначення актуальних напрямів підвищення ефективності розробки та застосування зернових сівалок на основі аналізу отриманих даних і виявлення характерних трендів і патернів.

Прогнозування за допомогою *S*-функції дозволяє встановити, невикористовувані можливості застосовуваного принципу дії. Якщо ці можливості мають резерви, то на основі прогнозування можна сформулювати напрямки поліпшення аналізованих показників ефективності. Якщо за результатами прогнозу можливості принципу дії вичерпані, то можливо зробити обґрунтований висновок про перехід на новий їх рівень. Для прогнозування розвитку посівних машин використовувалися дослідження і рекомендації, представлені в літературі [92-95].

В даний час для виявлення та опису закономірностей у складних явищах і процесах використовуються технології інтелектуального аналізу даних. Інтелектуальним аналізом даних є процес визначення нових, потенційно корисних знань і закономірностей на основі великих масивів

даних [96]. Таким чином, завданням інтелектуального аналізу даних є ефективне вилучення неочевидних, але осмислених, об'єктивних і корисних закономірностей з наявного масиву даних.

У науковій літературі замість терміна "інтелектуальний аналіз даних" може використовуватися термін "Data Mining". Технологія Data Mining вирішує наступні завдання – класифікація, прогнозування, асоціація, кластеризація, виявлення і аналіз відхилень, аналіз зв'язків, оцінка та візуалізація. Для прогнозування доцільно використати історичну інформацію, що зберігається в базі даних у вигляді часових рядів (Time-Series Data Mining). Традиційно виділяються наступні етапи в процесі інтелектуального аналізу даних (алгоритм аналізу даних):

- вивчення предметної області, в результаті якого формулюються основні цілі аналізу і збір даних;
- попередня обробка даних: "очищення" даних – вилучення суперечностей і випадкових "шумів" з вихідних даних; інтеграція даних – об'єднання даних з декількох можливих джерел в одній базі; перетворення даних до форми, придатної для аналізу;
- витяг даних: застосовуються алгоритми інтелектуального аналізу з метою отримання патернів і виявлення трендів;
- аналіз та інтерпретація знайдених патернів – етап може включати візуалізацію вилучених патернів, визначення корисних патернів на основі деякої функції корисності або критерію ефективності

Результати застосування методів технології Data Mining значною мірою залежать від рівня підготовки даних, а не від можливостей якогось алгоритму або набору алгоритмів. Близько 75% роботи над Data Mining полягає в зборі даних, який відбувається ще до того, як запускаються самі інструменти [96-99].

В даний час в Data Mining використовуються методи нечіткої логіки, нейронні мережі й еволюційні обчислення на основі генетичних алгоритмів. Еволюційні обчислення – це термін, що відноситься до методів оптимізації систем, об'єднаних тим, що всі вони передбачають еволюцію об'єктів, що входять в систему [93]. З еволюційних обчислень найбільше поширення отримали генетичні алгоритми. Пропонується використовувати методи аналізу показників ефективності, засновані на генетичних алгоритмах і спрямовані на прогнозування розвитку та визначення ефективності використання зернових сівалок.

10.5 Закономірності розвитку технічного рівня та прогнозування показників ефективності зернових сівалок з механічними висівними апаратами на основі інтелектуальних методів

Проаналізуємо процес розвитку технічного рівня сівалок з механічними висівними апаратами. При цьому поставлено завдання визначення показників ефективності конструкцій та роботи посівних машин на основі розробки прогнозних моделей. З цією метою приймається

допущення, що розвиток розглянутих показників ефективності відбувається еволюційним шляхом [8, 101].

При побудові на цій основі прогностичних моделей важливо володіти достатнім числом ретроспективних даних, щоб охопити максимальну, досить представницьку область існування визначальної залежності [102].

Тому, першим етапом інтелектуального аналізу даних є збір ретроспективних даних. Ними є показники конструкцій і робочого процесу приблизно 200 моделей посівних машин з механічними висівними апаратами, які розроблялися і випускалися протягом 100 років (1917...2017 рр.).

Другим етапом аналізу даних є попередня обробка даних: інтеграція – об'єднання даних з декількох можливих джерел в одній базі і перетворення їх до форми, придатної для аналізу. При цьому досліджуваний період часу дискретизовано на проміжки, рівні 10 років, протягом яких випускалися посівні машини визначеного технічного рівня або за певними стадіями розвитку [101, 103], тобто за умовними етапами еволюції, що являє собою агрегацію даних:

- 1910-1920 – випуск посівних машин на кінній тязі;
- 1920-1930 – становлення вітчизняного машинобудування, поява посівних машин на тракторній тязі;
- 1930-1940 – довоєнний період, серійне виробництво сівалок на тракторній тязі, якісні зміни в процесі посіву;
- 1940-1950 – воєнний і післявоєнний періоди, поширення вузькорядного посіву зернових культур;
- 1950-1960 – науково-дослідні роботи, спрямовані на зміну конструкцій робочих органів, підвищення надійності посівних машин і розробку сімейства нових причіпних зернових сівалок;
- 1960-1970 – реалізація систем машин на 1961-1965 рр.;
- 1970-1980 – перехід до комплексної механізації посівних робіт, підвищення робочих швидкостей до 10 км/год., суміщення операцій;
- 1980-1990 – автоматизація посівних машин і процесу висіву, інтенсифікація посівних робіт на основі подальшого зростання швидкості руху сівалок та їх агрегування зі швидкісними тракторами;
- 1990-2000 – поширення систем точного інформаційного землеробства і адаптація посівних машин до роботи в них.

В якості основних показників, що характеризують технічний рівень і роботу зернових сівалок, прийняті технологічні: теоретична швидкість руху, теоретична продуктивність, питома продуктивність, а також конструктивні: ширина захвату конструктивна маса, матеріаломісткість. Середні значення показників по десятиліттях, представлені в табл.10.1.

Таблиця 10.1 – Значення показників, що характеризують технічний рівень і роботу зернових сівалок з механічними висівними апаратами

№ десят.	Середня швидк. V_{cp} , км/год	Середня теор. продукт. W_{cp} , га/г	Середня питома продукт. $W_{пит}$, га/тм	Середня ширина захвату B , м	Середня констр. маса $m_{кс}$, т	Матеріало-місткість $m_{пит}$, т/м	Період виробн. машин, пр.
	Технологічні показники			Конструктивні показники			
1	2.300	0.350	0.233	1.500	0.500	0.333	1910-е
2	2.300	0.350	0.233	1.500	0.500	0.333	1920-е
3	2.800	0.500	0.278	1.800	0.490	0.272	1930-е
4	4.614	1.370	0.462	2.743	0.768	0.285	1940-е
5	5.712	1.719	0.569	2.947	0.821	0.276	1950-е
6	6.492	1.875	0.645	2.812	0.806	0.273	1960-е
7	9.160	4.266	1.007	4.018	1.182	0.272	1970-е
8	11.493	5.170	1.152	4.449	1.359	0.329	1980-е
9	11.060	4.820	1.117	4.729	1.252	0.341	1990-е
10	11.102	5.861	1.105	5.133	1.882	0.416	2000-е

Для виявлення залежностей динаміки зміни показників застосовувалося розроблене програмне забезпечення "Еволюційне моделювання показників робочого процесу посівних машин на основі інтелектуального методу генетичних алгоритмів", куди завантажувався файл з сукупністю показників натисканням кнопки "Завантаження даних". В результаті роботи генетичних алгоритмів отримуються S -функції, що відображає динаміку відповідного показника [12]. На рис. 10.4 представлено S -функцію, що характеризує середню питому продуктивність $W_{пит}$.



Рисунок 10.4 – Результати обробки показника середньої питомої продуктивності $W_{пит}$ на основі еволюційних обчислень із застосуванням генетичних алгоритмів і вид його S -функції: 1...10 – періоди часу

Вид S -функцій, що характеризують зміни технологічних та конструктивних показників зернових сівалок з механічними висівними

апаратами за даними табл.10.1, використання інтелектуального методу генетичних алгоритмів, представлений на рис.10.5 і 10.6.

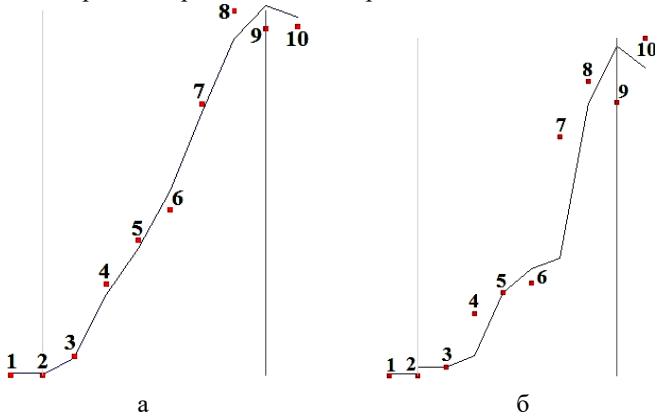


Рисунок 10.5 – Вид S-функцій, що характеризують динаміку зміни показників зернових сівалок з механічними апаратами на основі інтелектуальних методів генетичних алгоритмів: середньої швидкості V_{cp} (а) і середньої теоретичної продуктивності W_{cp} (б), 1...10 – періоди часу

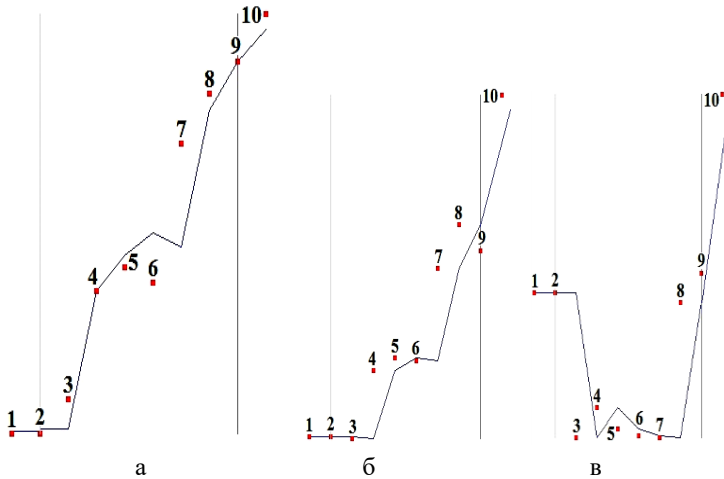


Рисунок 10.6 – Вид S-функцій, що характеризують динаміку зміни показників зернових сівалок з механічними висівними апаратами на основі інтелектуального методу генетичних алгоритмів: середньої ширини захвату B (а), середньої конструктивної маси m_k (б) і середньої матеріаломісткості m_{min} (в), 1...10 – періоди часу

Значимо, що математичне відображення S -функції або її апроксимуючий вираз не має принципового значення і може бути довільним [102]. Тому апроксимацією даних табл.10.1, встановлено, що найбільш оптимальною залежністю зміни значень показників середньої швидкості V_{cp} , середньої теоретичної продуктивності W_{cp} , і середньої питомої продуктивності W_{num} від часу є рівняння кубічної регресії:

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d, \quad (10.6)$$

де y – відповідний показник; a, b, c, d – коефіцієнти рівняння кубічної регресії, які визначаються методом найменших квадратів (МНК) (табл.10.2); x – номер проміжку, відповідного періоду часу.

Рівняння регресії для показників середньої ширини захвату B , середньої конструктивної маси m_k і матеріаломісткості m_{num} можливо описати рівнянням квадратичної регресії:

$$y = ax^2 + bx + c, \quad (10.7)$$

де y – відповідний показник; a, b, c – коефіцієнти рівняння квадратичної регресії, які визначаються методом найменших квадратів (табл.10.2); x – номер проміжку, відповідного періоду часу.

Таблиця 10.2 – Отримані значення коефіцієнтів рівнянь регресії показників ефективності зернових сівалок з механічними висівними апаратами

Коефіцієнт регресії	Середня швидк. V_{cp} , км/год	Середня теор. продукт. W_{cp} , га/г	Середня питома. продукт. W_{num} ,га/тМ	Середня ширина захвату B , м	Середня констр. маса m_k , т	Матеріаломісткість m_{num} , т/М
a	-0.0403	-0.0167	-0.0047	0.0102	0.0136	0.0052
b	0.6753	0.3167	0.0775	0.3258	-0.0085	-0.0509
c	-1.9773	-1.0330	-0.2365	0.9793	0.4793	0.3926
d	3.7726	1.1833	0.4149	–	–	–

Визначення значень конструктивної маси за рівнянням (10.7) узгоджується з результатами, представленими в роботі [16], згідно яких, залежність маси сівалки від рядності описується параболічним рівнянням.

Значення характеристичних показників, розрахованих за рівнянням регресії (10.6) і (10.7), а також похибка апроксимації ΔA , значення фактичного F_ϕ і табличного (критичного) F_T критеріїв Фішера, представлені в табл.10.3.

Виходячи з табл.10.3, $F_\phi \gg F_T$, це свідчить про те, що регресії (10.6) і (10.7) статистично надійні і природа встановлених закономірностей є не випадковою. Це підтверджує адекватність отриманих регресійних рівнянь, тобто можливість їх використання для опису динаміки зміни аналізованих показників розвитку зернових сівалок з механічними висівними апаратами.

На підставі даних табл.10.3 та враховуючи інтелектуальні методи, побудовані темпоральні залежності динаміки зміни значень сукупності показників розвитку зернових сівалок з механічними висівними апаратами. Логічно припустити, що в зв'язку із зростанням значень розглянутих показників, зокрема, ширини захвату зернових сівалок з механічними висівними апаратами має місце збільшення значень тягового опору.

Таблиця 10.3 – Отримані значення характеристичних показників зернових сівалок з механічними апаратами, розраховані за рівняннями відповідних регресій

№	Середня швидк. V_{cp} , км/год	Середня теор. продукт. W_{cp} , га/г	Середня питома. продукт. $W_{пит}$,га/гм	Середня ширина захвату B , м	Середня констр. маса m_k , т	Матеріаломісткість $m_{нум} \cdot 10^2$, т/м	Період виробн. машин, рр.
1	2.4303	0.4502	0.2513	1.3152	0.4844	3.469	1910-е
2	2.1967	0.2501	0.2145	1.6716	0.5167	3.116	1920-е
3	2.8300	0.4823	0.2765	2.0483	0.5762	2.867	1930-е
4	4.0884	1.0465	0.4092	2.4453	0.6629	2.723	1940-е
5	5.7300	1.8421	0.5843	2.8628	0.7767	2.682	1950-е
6	7.5129	2.7686	0.7738	3.3005	0.9178	2.745	1960-е
7	9.1954	3.7255	0.9494	3.7587	1.0860	2.913	1970-е
8	10.5356	4.6125	1.0831	4.2372	1.2814	3.184	1980-е
9	11.2917	5.3289	1.1468	4.7361	1.5041	3.560	1990-е
10	11.2218	5.7743	1.1121	5.2553	1.7539	4.040	2000-е
$\Delta A\%$	5.06	17.46	6.54	8.24	9.78	4.15	–
F_ϕ	106.6132	44.7742	88.4218	94.6530	47.3153	31.6797	–
F_T	4.7571			4.7374			–

Середні значення питомого тягового опору представлені в табл.10.4.

Таблиця 10.4 – Середні значення динаміки зміни питомого тягового опору зернових сівалок

Значення показників	1960-е гг.	1970-е гг.	1980-гг.
Проміжок часу	1	2	3
Тяговий опір $p_{нум}$, кН/м	1.045	1.320	1.710

При апроксимації даних табл.10.4 встановлено, що часовий ряд значень питомого тягового опору $p_{нум}$ також визначається рівнянням квадратичної регресії (10.7), коефіцієнти якого відповідно дорівнюють: $a = 0.0575$, $b = 0.1025$, $c = 0.885$, а похибка апроксимації становить $\Delta A = 0$.

Графічна залежність, що відображає динаміку значень питомого тягового опору зернових сівалок, представлена на рис.10.7.

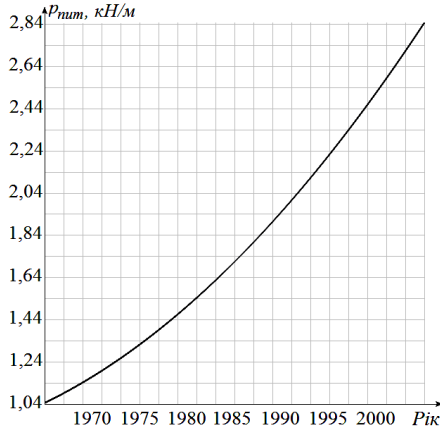


Рисунок 10.7 – Темпоральна залежність динаміки зміни значень питомого тягового опору зернових сіялок з механічними висівуючими апаратами з використання інтелектуальних методів

Оскільки розглядаються зміни значень питомого тягового опору зернових сіялок при зміні їх продуктивності, яка визначається, в основному, підвищенням ширини захвату, то при цьому основною причиною зміни питомого тягового опору є вплив екстенсивних факторів підвищення продуктивності – зростання матеріаломісткості, викликане підвищенням ширини захвату сіялок.

Розглянуті графічні інтерпретації S-функцій, що характеризують середні швидкість, продуктивність і питому продуктивність зернових сіялок (рис.10.5 і рис.10.6). Ці показники залежать від інтенсивності руху (швидкості або прискорення) і визначають інтенсивний (якісний) характер розвитку посівних машин. Можна бачити, що вони мають тенденцію до насичення в певний момент часу. У той же час графіки S-функцій визначають екстенсивний (кількісний) характер розвитку посівних машин, мають тенденцію до безперервного зростання. Це свідчить про непропорційне зростання матеріальних і грошових коштів, а також зниження капіталовіддачі та рівня інноваційності в процесі виробництва та експлуатації.

Залежності на рис.10.4-10.6 підтверджують той факт, що розвиток зернових сіялок з механічними котушковими висівними апаратами підпорядковується логістичній закономірності і має межу насичення, а закладений принцип дії за показниками ефективності приймає граничні характеристики [103]. У відповідності з формою цих залежностей, в різні періоди розвитку продуктивність нових машин спочатку незначно відрізняється від продуктивності колишніх засобів механізації, наприклад періоди 1...3, або початкова стадія. Потім вона зростає прискореними темпами (періоди 3...8, або основна стадія), а в кінці приріст показників

продуктивності сповільнюється, або навіть знижується (період 8...10), так як загострюються протиріччя між потребами виробництва та можливостями енергетичної бази і принципу дії машин.

Виявлено, що у кожному періоді зростання або зміна показників розвитку машин у часі відбувається безперервно, але з різною швидкістю. В еволюційному процесі їх розвитку спостерігаються невеликі стрибки, пов'язані з освоєнням і впровадженням нових технологій виробництва, конструктивних матеріалів і видів техніки. При цьому одночасно збільшуються витрати енергії на одиницю роботи, чи продукції, зростають капітальні та експлуатаційні витрати. На думку Іванова І.Ф. [44], це відображається збільшенням "опору середовища". Графічна інтерпретація зазначеного наведена на рис.10.8.

Потенціал продуктивності – це приріст продуктивності з плином часу, який здійснюється при відсутності обмежень в енергії, відсутності шкідливих побічних ефектів і т.д. Проте в реальності "середовище", а точніше, фіксована кількість ресурсів або енергії, обмежує можливості приросту продуктивності, що і може відповідати поняттю "опір середовища".

Для розглянутого типу сівалок "опір середовища" полягає в тому, що продуктивність машини пропорційна корисно витраченій енергії. З іншого боку, чим більше передається потужність, тим більші її втрати. Відбувається це внаслідок наступних причин: морально та фізично застарілого принципу дії; пульсацій потужності при здійсненні технологічного процесу, які досягають 10...40% [105], що завжди призводить до додаткової нерациональної витрати енергії та необхідності резервування енергоресурсів; при збільшенні переданої потужності є потрібність у підвищенні міцності елементів передавальних механізмів (трансмисії), що пов'язане із зростанням габаритних розмірів машин, а також втрат на холостий хід машин.

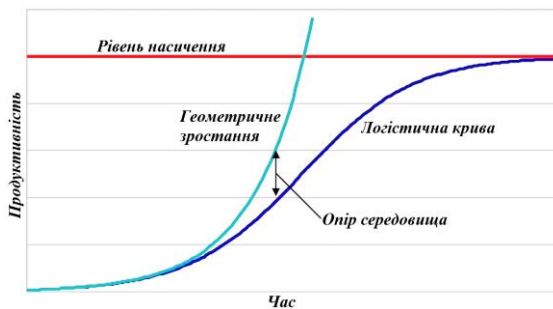


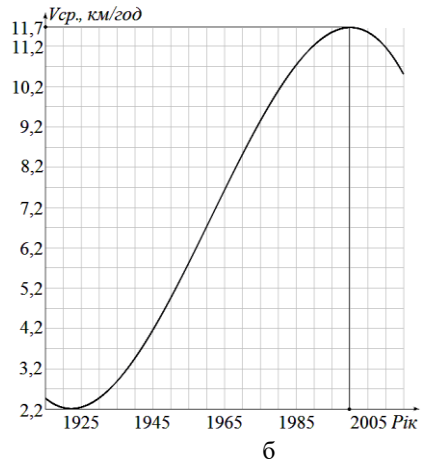
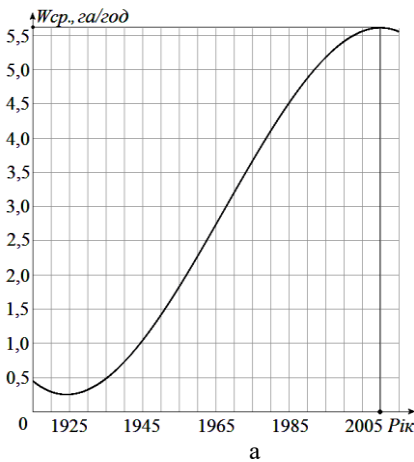
Рисунок 10.8 – Графічне відображення зміни потенціалу продуктивності і "опору середовища" для зернових сівалок з механічними висівачими апаратами, отримане на основі інтелектуальних методів

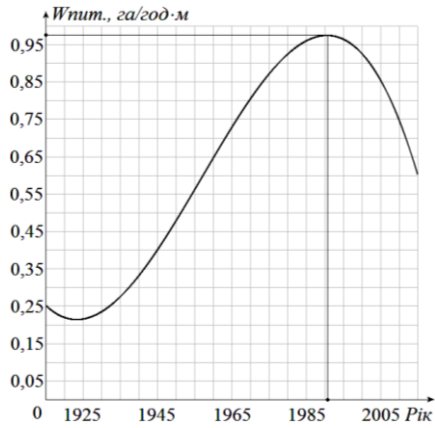
Отримані дані не суперечать результатам роботи [90], згідно з якими інтенсивність дії лімітуючих факторів у процесі розвитку мобільної СГТ

безперервно наростає, що неодмінно призводить до зниження ступеня приросту продуктивності. Крім того, ще на початку 90-х років XX століття більшість функцій машин (більше 70%) реалізовувалися механічним шляхом. Це пояснюється їх недостатньою функціональною гнучкістю, наявністю процесів тертя, люфтів і пружностей в передачах, а також все зростаючою вартістю [84]. Тому висунута гіпотеза теоретичних досліджень про відповідність S-функції темпоральних динаміки зміни значень показників ефективності зернових сівалок з механічними висівними апаратами, може вважатися підтвердженою на основі розглянутих фактів і встановлених кількісних закономірностей. Оскільки залежності є кривими насичення, що описуються S-функцією, то необхідно визначити насичення розглянутих показників ефективності на основі прогнозування.

При прогнозуванні на основі часових рядів використовуються методи регресійного аналізу, ковзних середніх та експоненціального згладжування. Вони застосовуються, в основному, для порівняно короткострокового прогнозування тільки у випадках еволюційного розвитку процесів [88], що було встановлено у розглянутих випадках. Одним з важливих моментів прогнозування є вибір співвідношення глибини ретроспективності виявлених трендів і дальності прогнозованого інтервалу. Як правило, термін прогнозів становить до 1/3 ретроспективного ряду даних [88].

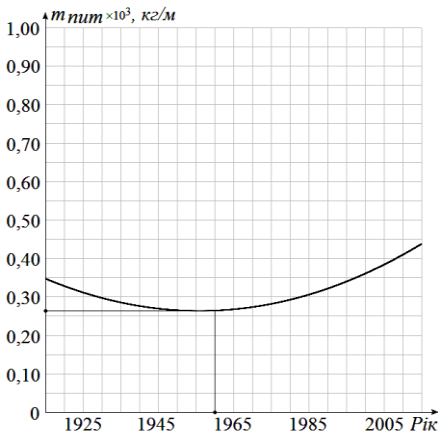
На основі регресійних рівнянь (10.6) та значень їх коефіцієнтів (табл.10.2) визначено насичення показників розвитку і технічного рівня зернових сівалок з механічними висівними апаратами. Побудова прогнозних графіків насичення (рис.10.9, 10.10) на строк, що становить 10% від величини ретроспективного ряду, свідчить, що приблизно до 2015 року, виявлено відповідності прогнозних значень показників.



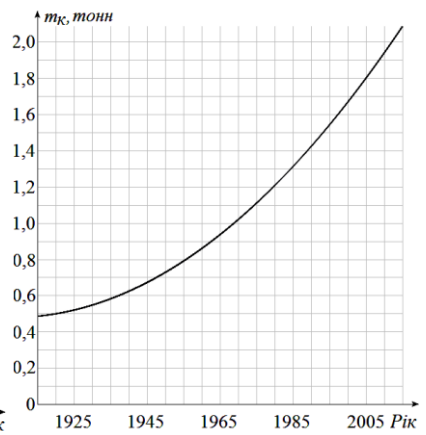


В

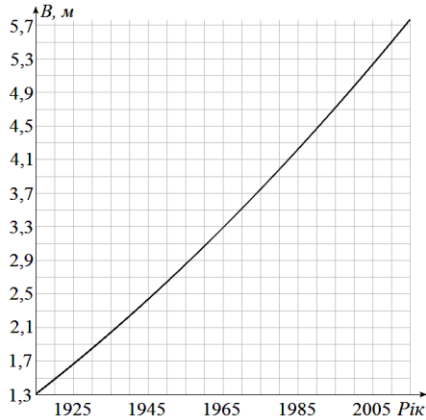
Рисунок 10.9 – Прогнозні графіки насичення значень технологічних показників зернових сівалок з механічними висівними апаратами побудовані на основі використання інтелектуальних методів: середньої продуктивності (а); середньої швидкості руху (б); середньої питомої продуктивності (в)



а



б



В

Рисунок 10.10 – Прогнозні графіки насичення значень конструктивних показників зернових сівалок з механічними висівними апаратами на основі використання інтелектуальних методів: середньої матеріаломісткості (a); середньої маси (b); середньої ширини захвату (e)

Аналізуючи представлені графічні залежності показників ефективності зернових сівалок з механічними висівними апаратами можна встановити, що діапазон оптимальної межі для середньої швидкості руху досягнутий на 2000р. становить 11.3...12км/год., що зумовлено агротехнічними і енергетичними обмеженнями; для продуктивності – досягнутий на 2010р. і становить 5.6...5.8 га/год., при швидкості 11.5км/год. і ширині захвату 5.0...5.2 м; для питомої продуктивності – досягнутий на період 1990...1995рр. і становить 0.98...1.1 га/год.м. Показники, такі як ширина захвату, конструктивна маса і матеріаломісткість не показують насичення і мають тенденцію до безперервного зростання. Тому для зернових сівалок з механічними висівними апаратами принципово не вдасться знизити матеріаломісткість до оптимальної в даних соціальних та техніко-економічних умовах, з одночасним пропорційним підвищенням ефективності і продуктивності, оскільки вже досягнуті максимальні значення показників, відповідні даному принципу дії.

Аналогічні результати отримані в роботі [106], де застосовані функціональні та часові моделі змінної W_3 і чистої W_4 продуктивності для термінального прогнозу, на основі яких побудовані сплайни, утворюючі S-функцію. Це дає уявлення про динаміку зміни продуктивності W зернових сівалок. При переході до розробки часової моделі за початковий момент розвитку для сівалок СУ-24 прийнято 1960р., для СЗ-3,6 – 1973р., (рис.2.9).

Темпоральна динаміка продуктивності сівалок описується рівняннями:
– для сівалки СУ-24:

$$W_I(t) = -0.025(T - 1960)^2 + 0.525(T - 1960) + 3, \text{ га/зм}; \quad (10.8)$$

– для сівалки СЗ-3,6:

$$W_{II}(t) = -0.0156(T - 1973)^2 + 0.553(T - 1973) + 4.25, \text{ га/зм}; \quad (10.9)$$

За цими рівняннями визначено момент досягнення сівалками максимальної продуктивності. Це 1971 та 1990 роки відповідно.

Узагальненим прогнозом є S -функція, що складається з двох сплайнів:

$$S(t) = \begin{cases} S_I = 0.0041(T - 1967)^2 - 0.005(T - 1963) + 4.3; \\ S_{II} = -0.0041(T - 1963)^2 + 0.323(T - 1963) + 3.08. \end{cases} \quad (10.10)$$

За сплайном $S(t)$ визначається максимальна змінна продуктивність, яка спостерігається на період $T = 2002 \dots 2003$ р.

В роботі [106] також наголошується, що найбільш перспективними будуть пневматичні сівалки з централізованим висівом. Подальший прогрес в механізації сівби зернових культур здійснюється за рахунок застосування сімейства сівалок з іншим принципом дії, на основі пневматичної централізованої висівної системи [88, 107].

10.6 Закономірності розвитку технічного рівня та прогнозування показників ефективності зернових сівалок з пневматичними централізованими висівними системами на основі інтелектуальних методів

В якості основних показників, що характеризують технічний рівень і роботу зернових сівалок з пневматичними централізованими висівними системами також прийняті технологічні параметри: теоретична швидкість руху, теоретична продуктивність, продуктивність на метр ширини захвату (питома продуктивність) і конструктивні параметри: ширина захвату конструктивна маса, матеріаломісткість (маса на метр ширини захвату).

Середні значення показників ефективності конструкцій та роботи зернових сівалок з пневматичними висівними системами по десятиліттям, представлені в табл.10.5.

Таблиця 10.5 – Значення показників технічного рівня і роботи зернових сівалок з пневматичними висівними системами

№	Середня швидк. V_{cp} , км/год	Середня теор. продукт. W_{cp} , га/г	Середня питома. продукт. $W_{пнт}$, га/гм	Середня ширина захвату B , м	Середня констр. маса $m_{кс}$, т	Матеріаломісткість $m_{пнт} \cdot 10^2$, т/м	Період виробн. машин, рр.
	Технологічні показники			Конструктивні показники			
1	10.630	6.402	1.066	6.017	1.115	1.850	1970-е
2	11.000	7.071	1.110	6.412	1.390	1.930	1980-е
3	11.816	7.925	1.182	6.665	1.414	2.150	1990-е
4	13.130	8.554	1.296	6.893	1.486	2.370	2000-е

Для виявлення динаміки значень показників ефективності зернових сівалок з пневматичною централізованою висівною системою (ПЦВС) також було застосовано додаток "Еволюційні моделювання показників робочого процесу посівних машин на основі генетичних алгоритмів", куди завантажувався файл з показниками. В результаті реалізації генетичних алгоритмів отримується S-функція, що відображає динаміку відповідного показника [107].

На рис. 10.11 наведена S-функція середньої теоретичної продуктивності W_{cp} .



Рисунок 10.11 – Результати обробки показника середньої теоретичної продуктивності W_{cp} на основі еволюційних обчислень із застосуванням генетичних алгоритмів і вид його S-функції: 1...4 – періоди часу

Розглянемо налаштування програми в даному випадку. Існують різні варіанти алгоритмів вибору. Перевага застосовуваного рангового методу (рис. 10.9) полягає в можливості його застосування, як для максимізації, так і для мінімізації функції.

Отримані на ПК види S-функцій, що характеризують інші конструктивно-технологічні показники зернових сівалок з ПЦВС за даними табл.10.5, представлені на рис.10.12 і 10.13.

При апроксимації даних табл.10.5, встановлено, що оптимальною залежністю зміни показників середньої теоретичної продуктивності W_{cp} від часу є рівняння кубічної регресії (10.6).

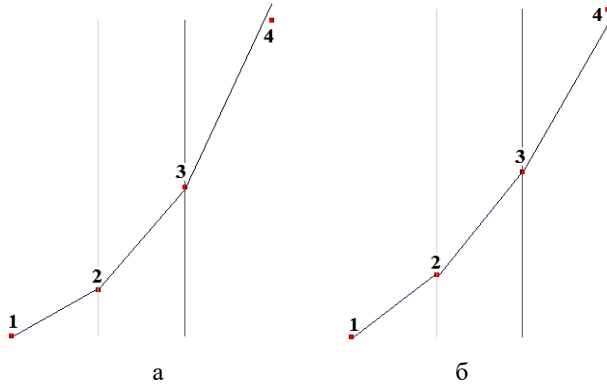


Рисунок 10.12 – Вид S -функцій, що характеризують динаміку показників зернових сівалок з ПЦВС, отриманих на основі інтелектуальних методів: середньої швидкості V_{cp} (а) і середньої питомої продуктивності W_{num} (б): 1...4 – періоди часу

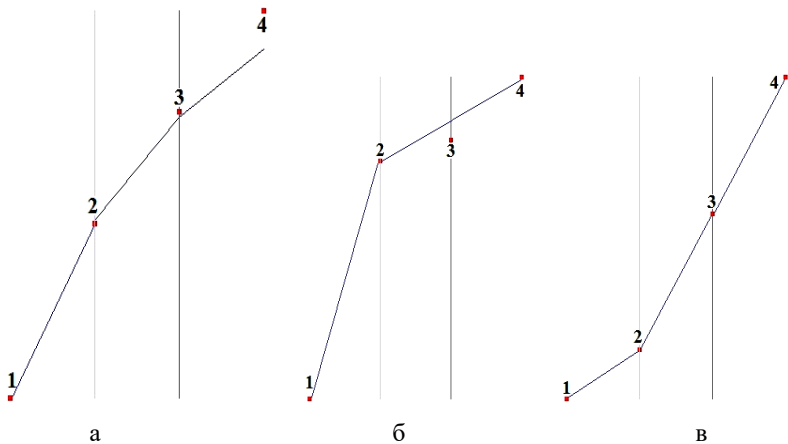


Рисунок 10.13 – Вид S -функцій, що характеризують динаміку показників сівалок з ПЦВС, отриманих на основі інтелектуальних методів: середньої ширини захвату (а), середньої конструктивної маси m_k (б) і середньої матеріаломісткості m_{num} (в): 1...4 – періоди часу

Для інших показників ефективності – середньої швидкості V_{cp} , середньої питомої продуктивності W_{num} , середньої ширини захвату B , середньої конструктивної маси m_k і матеріаломісткості m_{num} – оптимальними залежностями зміни значень показників є рівняння квадратичної регресії

(10.7). Коефіцієнти рівнянь регресії показників ефективності сівалок з пневматичними висівними системами представлені в табл.10.6.

Таблиця 10.6 – Значення коефіцієнтів рівнянь регресії показників ефективності сівалок з пневматичними висівними системами

Коефіцієнт регресії	Середня швидк. V_{cp} , км/год	Середня теоретич. продукт. W_{cp} , га/г	Середня питома. продукт. $W_{пит.}$, Га/гМ	Середня ширина захвату B , м	Середня констр. маса m_k , т	Матеріало-місткість m_{num} , т/М
<i>a</i>	0.2360	-0.0683	0.0175	-0.0418	-0.0508	0.0350
<i>b</i>	-0.3484	0.5025	-0.0113	0.4969	0.3675	0.0030
<i>c</i>	10.745	-0.3602	1.0605	5.5677	0.8132	1.8050
<i>d</i>	–	6.3280	–	–	–	–

Значення характеристикних показників, розрахованих за рівняннями регресії (10.6) і (10.7), а також похибка апроксимації ΔA , значення фактичного F_ϕ і табличного (критичного) F_T критеріїв Фішера, представлені в табл.10.7. Виходячи з табл.10.7 можна зробити висновок, оскільки $F_\phi \gg F_T$, то регресії статистично надійні і природа встановлених закономірностей є не випадковою. Це підтверджує адекватність отриманих регресійних рівнянь, тобто можливість їх використання для опису динаміки зміни аналізованих показників ефективності сівалок з пневматичними висівними системами.

Таблиця 10.7 – Значення характеристикних показників ефективності сівалок з пневматичними висівними системами, розрахованих за рівняннями регресії

№	Середня швидк. V_{cp} , км/год	Середня теор. продукт. W_{cp} , га/год	Середня питома. продукт. $W_{пит.}$, га/год·м	Середня ширина захвату B , м	Середня констр. маса m_k , т	Матеріало-місткість $m_{num} \cdot 10^2$, т/М	Період виробн. машин, рр.
1	10.6326	6.4020	1.0667	6.0229	1.1300	1.8430	1970-е
2	10.9922	7.0710	1.1079	6.3945	1.3452	1.9510	1980-е
3	11.8238	7.9250	1.1841	6.6826	1.4589	2.1290	1990-е
4	13.1274	8.5540	1.2953	6.8872	1.4711	2.3770	2000-е
$\Delta A\%$	0.05	0	0.12	0.18	2.19	0.68	–
F_ϕ	13611.6	0	1543.74	308.262	800.382	830.326	–
F_T	199.5	0	199.5	199.5			–

Аналіз отриманої бази даних свідчить, що зернові сівалки з ПЦВС мають компоувальну схему з груповим дозуванням насіння. Це сприяє підвищенню продуктивності на 10...25% та зменшенню матеріаломісткості в 2...3 рази та зниженню витрат праці на 25...31% в порівнянні з позивними машинами з котушковими висівними апаратами [108]. Тому розглянуті показники ефективності мають потенціал поліпшення. Практика показує, що найбільший ефект від реалізації принципу централізованого висіву має місце

в широкозахватних сівалках, але при цьому спостерігаються порівняно великі енерговитрати та значна нерівномірність висіву насіння між сошниками.

Здійснено прогнозування значень показників ефективності зернових сівалок з пневматичними висівними системами. На основі рівнянь (10.6) і (10.7) та їх коефіцієнтів в табл.10.6 визначимо можливе насичення показників розвитку і технічного рівня зернових сівалок з пневматичними висівними системами, побудувавши прогнозні графіки насичення (рис. 10.14, 10.15) на строк, що становить 10% від величини ретроспективного ряду, тобто приблизно до 2015р.

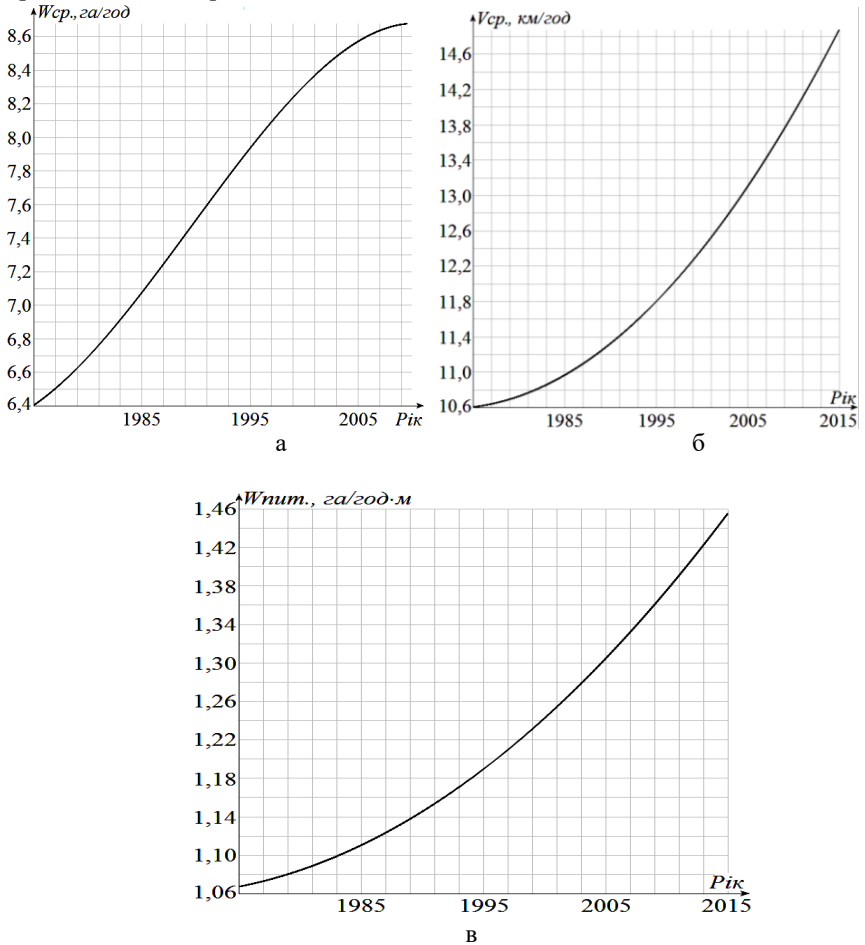


Рисунок 10.14 – Графіки насичення значень технологічних показників зернових сівалок з пневматичними висівними системами: середньої продуктивності (а); середньої швидкості руху (б); середньої питомої продуктивності (в)

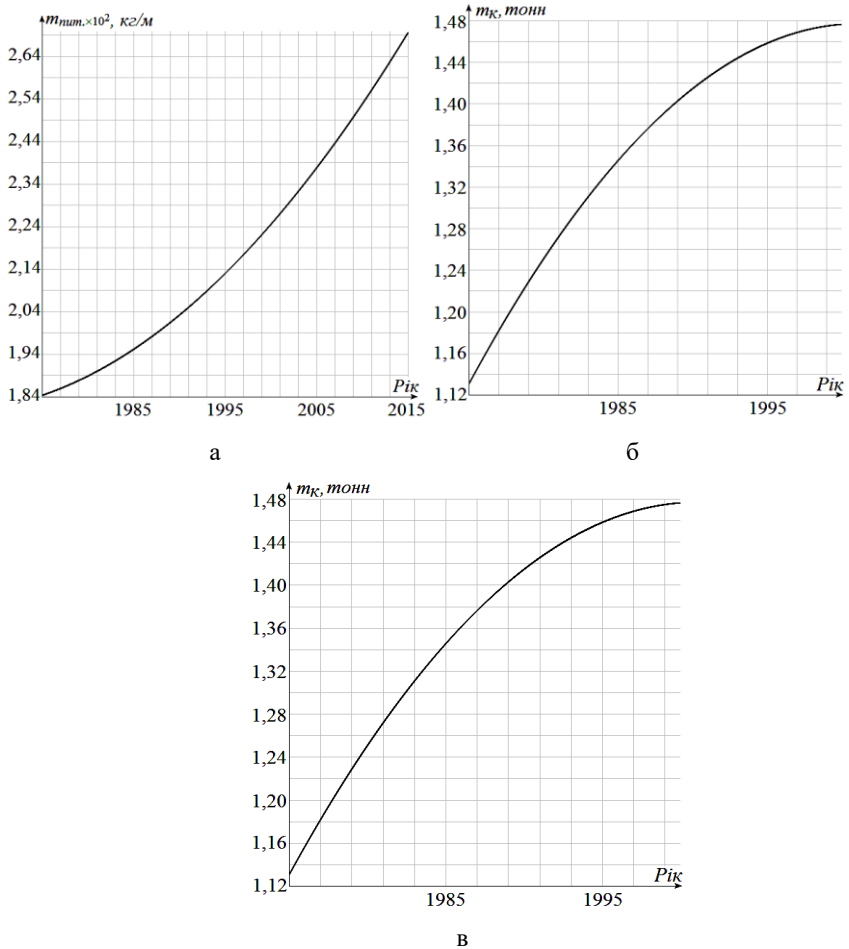


Рисунок 10.15 – Графіки насичення значень конструктивних показників зернових сівалок з пневматичними висівними системами: середньої матеріаломісткості (а); середньої маси (б); середньої ширини захвату (в)

Аналізуючи представлені на рис.10.14-10.15 графічні залежності можна встановити, що незважаючи на підвищення середньої швидкості руху, середня продуктивність приймає вигляд S-функції, внаслідок насичення значень середньої ширини захвату, одночасно з якою насичуються і значення середньої конструкційної маси зернових сівалок з ПЦВС. Можна бачити, що значення середньої питомої продуктивності і середньої матеріаломісткості

збільшуються. Проте можливо твердити, що через певний час вони також будуть описуватися S -функцією.

10.7 Критерій ефективності конструкцій і робочого процесу зернових сівалок з інтелектуальними елементами

Встановлені залежності (рис.10.7) дозволяють висунути гіпотезу про існування деяких критеріїв (функцій) корисності або ефективності функціонування посівних машин, аналогічних критеріям оптимальності функціонування технічної системи, запропонованим в роботі [109]. Такі критерії можуть представляти собою параметричні співвідношення, що визначають ефективність виробництва та експлуатації зернових сівалок, зокрема на основі раціонального використання енергії.

Вищенаведені міркування дають підставу запропонувати узагальнений критерій ефективності, що враховує конструктивну досконалість і виконання заданих функцій зерновими сівалками.

На рис.10.16 представлено графік 1, що характеризує зміну питомого тягового опору зернових сівалок (рис.10.7) і поєднаний з графіком 2 зміни питомої продуктивності сівалок, які оснащені механічними висівними апаратами. Визначено також, що продуктивність пропорційна корисно витраченій енергії [111], яку можна розглядати як витрати на подолання тягового опору. Виходячи з графіків (рис.10.16, крива 1 і 2) припустимо, що співвідношення витрат енергії, виражених в даному випадку питомим тяговим опором до показника питомої продуктивності, тобто p_{num}/W_{num} , може характеризувати порівняльну ефективність посівної машини [110].

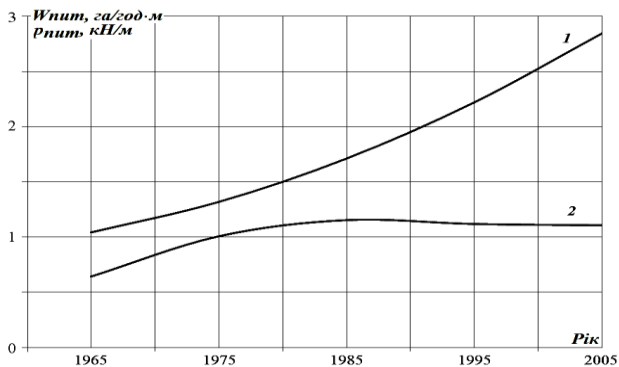


Рисунок 10.16 – Динаміка зміни питомого тягового опору p_{num} (1) і питомої продуктивності W_{num} (2) зернових сівалок з механічними висівними апаратами

Тоді критерій ефективності можна записати у вигляді:

$$\frac{P_{num}}{W_{num}} \rightarrow \min . \quad (10.11)$$

Визначимо значення запропонованого критерію ефективності для різних періодів виробництва і застосування зернових сівалок з механічними катушковими висівними апаратами, виходячи з даних табл.10.1, 10.3, 10.4: для 1960-х рр. – 1.62, для 1970-х рр. – 1.31, для 1980-х рр. – 1.48.

Для інших періодів критерій оптимальності визначимо виходячи з графіка на рис.10.15: для 1990-х рр. – 2.00, для 2000-х рр. – 2.57.

Для 40-рядної зернової сівалки Astra-6, при швидкості руху $V_p=12$ км/год, розрахунковий питомий тяговий опір складе $p_{num}=2.75$ кН/м при питомій продуктивності $W_{num}=1.2$ га/год·м. Значення запропонованого показника ефективності для сівалки Astra-6 складе 2.29 Нгод/га. Відповідно, для 24-х рядної зернової сівалки СЗ-3,6А, при швидкості руху $V_p=15$ км/год, розрахунковий питомий тяговий опір складе $p_{num}=2.60$ кН/м при питомій продуктивності $W_{num}=1.5$ га/год·м, а значення пропонованого показника ефективності для сівалки СЗ-3,6А складе 1.73Нгод/га. Тому в цих умовах логічною буде тенденція до підвищення робочих швидкостей руху, яка вже має місце в даний час для зернових сівалок з пневматичними централізованими висівними системами, що призводить до поліпшення аналізованого показника ефективності (рис.10.17).

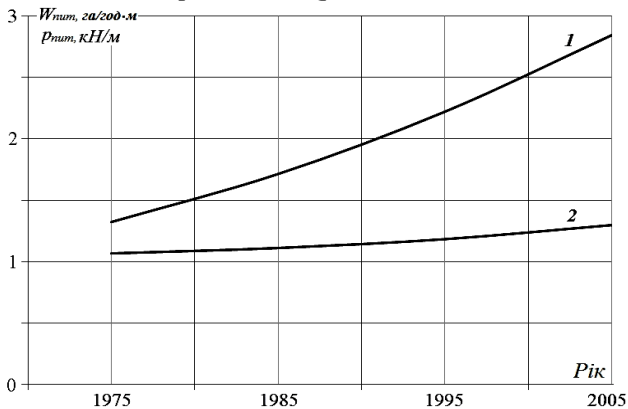


Рисунок 10.17 – Динаміка зміни питомого тягового опору p_{num} (1) і питомої продуктивності W_{num} (2) зернових сівалок з ПЦВС, отримана на основі інтелектуальних методів

Зазначимо, що для зернових сівалок Accord MSC4 і MSC6 робоча швидкість руху складає 18км/год., а для сівалки Horsch Pronto 6AS – 20км/год. Це дозволяє скоротити агротехнічні строки виконання робіт, зменшити втрати вологи зменшенням міжопераційних проміжків часу та економити ПММ.

В якості граничного значення критерію ефективності емпірично прийнято "золотий" перетин або "золоту" пропорцію, значення якої становить 1.618, тобто:

$$\frac{P_{num}}{W_{num}} < 1.618. \quad (10.12)$$

Оскільки крива питомої продуктивності зернових сівалок (рис.10.17), стабілізувалася після 1985 року із середнім значенням 1.111га/годм, то можна визначити умовний момент досягнення граничного критерію ефективності для сівалок з механічними висівними апаратами по часу і який припадає приблизно на 1985...1990рр.

Як вже зазначалося, цей період часу корелює з дослідженнями проведеними в роботі [105], де розглянуто функціональні та часові моделі змінної W_3 і чистої W_v видів продуктивності для термінального прогнозу динаміки зміни продуктивності зернових сівалок з механічними висівними апаратами.

Виходячи з рис.10.19, можна зробити висновок, що питомий тяговий опір зернових сівалок з механічними висівними апаратами зростає непропорційно їх питомій продуктивності, що тягне за собою прогресуюче збільшення витрат при непропорційному зниженні віддачі.

Виявлена закономірність є окремим випадком закону спадної продуктивності основних фондів або закону збиткової родючості. Згідно з дослідженнями, проведеними в роботі [112], у загальному випадку в сільгоспвиробництві спостерігається зменшення приросту виходу продукції в енергетичних одиницях $E_{вих}$, щодо вкладеної енергії E_{ex} при повній механізації та вдосконалення технологій. Зростання втрат $E_{вт}$ зумовлене неповним знанням механізмів явищ, неоптимальністю і невпорядкованістю процесів, відсутністю оперативного управління процесами і системного підходу при розробці технічних засобів.

Виходячи з визначення коефіцієнта динамічної в'язкості, фізичний зміст запропонованого критерію полягає в здатності машини долати опір робочому процесу з максимальною ефективністю.

Всебічні і глибокі знання механіки сипких матеріалів є вихідною передумовою вдосконалення і створення нових принципів робочих органів сівалок. При цьому сила опору з урахуванням зчеплення частинок описується законом Амонтона – Кулона [113-115]:

$$T = F_3 f + \tau_0 S, \quad (10.13)$$

де F_3 – зрушуюча сила, Н; f – коефіцієнт внутрішнього тертя сипкого тіла; τ_0 – початковий опір зсуву, Н/м²; S – площа, по якій відбувається зсув, м².

З іншого боку, виходячи з гідродинамічних аналогій, опір робочому процесу зернової сівалки можна виразити використанням поняття неньютонівської рідини, що грає роль умовного середовища і визначає витрати енергії на роботу сівалки. Зазначимо, що у випадку неньютонівської

рідини при її русі в'язкість (в даному випадку розглянутий критерій ефективності) залежить від градієнта швидкості. Таким чином, ефективність робочого процесу, що визначається даним критерієм, залежить від швидкості. Тоді сила опору, обумовлена такий середовищем, може бути виражена відомим рівнянням гідродинаміки:

$$T = \tau_0 S \pm \mu S \frac{dV}{dh}, \quad (10.14)$$

де dV/dh – градієнт швидкості.

Розділивши складові рівняння на площу S , отримаємо:

$$\tau = \tau_0 \pm \mu \frac{dV}{dh}, \quad (10.15)$$

де τ – дотичні напруження при зсуві.

Виразивши в'язкість з рівняння (10.15), отримаємо:

$$\left[\frac{P_{num}}{W_{num}} \right] \Rightarrow \mu = \frac{(\tau - \tau_0)dh}{dV}. \quad (10.16)$$

Прирівнюючи у рівнянні (10.16) $h = B$, отримаємо:

$$\left[\frac{P_{num}}{W_{num}} \right] = \frac{(\tau - \tau_0)dB}{dV}. \quad (10.17)$$

Або:

$$\left[\frac{P_{num}}{W_{num}} \right] = \frac{\tau B - \tau_0 B}{V}. \quad (10.18)$$

В отриманому виразі (10.18) величина початкового опору зрушенню τ_0 відноситься до сипучих матеріалів, задіяних в робочому процесі, тобто до насіння, добрив і ґрунту. Для посівного матеріалу значення τ_0 наводиться в джерелах [116-118], а для ґрунту, підготовленого до сівби – визначається експериментально.

Виходячи з виразів (10.17), (10.18) можна зробити висновок, що розглянутий критерій ефективності, еквівалентний коефіцієнту динамічної в'язкості, прямо пропорційний дотичним напруженням в робочому процесі по ширині захвату сівалки, які в основному визначають збільшення тягового опору, і обернено пропорційний швидкості руху.

З виразів (10.17), (10.18) також випливає, що для поліпшення розглянутого критерію ефективності треба розвивати якісний інтенсивний напрямок розвитку посівних машин, що, зокрема, виражається підвищенням швидкості робочого процесу висіву.

Отримані дані і залежності узгоджуються з результатами роботи [90]. Питома витрата енергії на оранці із зростанням енергонасиченості тракторів і зі збільшенням ширини захвату також збільшується. Великий вплив на

енергоємність надає робоча швидкість агрегату: з її збільшенням енергоємність зменшується приблизно на 47% у порівнянні із збільшенням ширини захвату.

Отже із збільшенням швидкості руху продуктивність зростає більш інтенсивно, ніж тяговий опір. Таким чином, з точки зору енергетики, підвищення продуктивності за рахунок збільшення швидкості краще, ніж за рахунок збільшення ширини захвату [90]. Для посівних МТА даний результат буде меншим внаслідок більш слабкої несучої здатності агрофону на сівбі.

Для перевірки цього розглянемо динаміку зміни техніко-експлуатаційних показників конструкцій та роботи зернових сівалок, в залежності від збільшення ширини захвату і підвищення робочих швидкостей.

Збільшення ширини захвату розглянемо на сімействі зернових сівалок типу СЗ. При цьому розглянемо техніко-експлуатаційні показники для моноблочних сівалок СЗ-3,6, СЗ-5,4. Визначено, що оптимальною становить $V_p \approx 3.33$ м/с (12 км/год), а розрахунок показників здійснено використовуючи залежності (6.1)-(6.12).

Вихідні дані і результати розрахунків представлені в табл.10.8.

Таблиця 10.8 – Розрахунки динаміки зміни техніко-експлуатаційних показників сівалок в залежності від ширини захвату

Показник	Позначення, од. вим.	Значення	Показник	Позначення, од. вим.	Значення
Сівалка СЗ-3,6			Сівалка СЗ-5,4		
Ширина захвату	B , м	3.6	Ширина захвату	B , м	5.4
Конструкт. маса	m_k , кг	1400	Конструкт. маса	m_k , кг	2549
Матеріаломісткість	m_{num} , кг/м	389	Матеріаломісткість	m_{num} , кг/м	472
Маса насіння	$m_{нас}$, кг	340	Маса насіння	$m_{нас}$, кг	510
Експлуат. вага	G_c , Н	17069	Експлуат. вага	G_c , Н	30000
Опір перекочуванню	R_n , Н	3755	Опір перекочуванню	R_n , Н	6602
Опір сошників	R_c , Н	3600	Опір сошників	R_c , Н	5400
Потужність для приводу висіваючих апар.	$N_{В,А}$, Вт	420	Потужність для приводу висіваючих апар.	$N_{В,А}$, Вт	630
Коефіцієнт перевантаження	ν	1.15	Коефіцієнт перевантаження	ν	1.15
Тяговий ККД	$\eta_{твз}$	0.55	Тяговий ККД	$\eta_{твз}$	0.55
Тягова потужність	$N_{кр}$, Вт	28649	Тягова потужність	$N_{кр}$, Вт	46686
Потужність двиг.	$N_{д}$, Вт	52089	Потужність двиг.	$N_{д}$, Вт	84.9
Питома енергоємн.	E_c , кВт/м	14.5	Питома енергоємн.	E_c , кВт/м	15.7
Питомий тяговий опір	P_{num} , кН/м	2.39	Питомий тяговий опір	P_{num} , кН/м	2.60
Теоретична продуктивність	W_m , га/год	4.32	Теоретична продуктивність	W_m , га/год	6.47
Питома продуктивність	W_{num} , га/год	1.20	Питома продуктивність	W_{num} , га/год	1.20
Критерій ефективності	P_{num}/W_{num} кг/с·м	2.0	Критерій ефективності	P_{num}/W_{num} кг/с·м	2.17

Підвищення швидкості руху сівалок розглянемо на прикладі сівалки СЗ-3,6 з шириною захвату $B = 3.6$ м. Розрахунок проведемо на підставі залежностей (6.1) – (6.12). Вихідні дані і результати розрахунків представлені в табл.10.9.

Таблиця 10.9 – Вихідні дані і результати розрахунків динаміки зміни показників роботи сівалки СЗ-3,6 в залежності від швидкості руху

Показник	Позначення, од. вим.	Значення	Показник	Позначення, од. вим.	Значення
Швидкість руху $V_p \approx 2,5\text{м/с}$ (9км/год)			Швидкість руху $V_p \approx 4,17\text{м/с}$ (15км/год)		
Ширина захвату	B , м	3.6	Ширина захвату	B , м	3.6
Конструкт. маса	$m_{кв}$, кг	1400	Конструкт. маса	$m_{кв}$, кг	1400
Матеріаломісткість	m_{num} , кг/м	389	Матеріаломісткість	m_{num} , кг/м	389
Маса насіння	$m_{нас}$, кг	340	Маса насіння	$m_{нас}$, кг	340
Експлуат. вага	G_c , Н	17069	Експлуат. вага	G_c , Н	17069
Опір перекочуванню	$R_{п}$, Н	3755	Опір перекочуванню	$R_{п}$, Н	3755
Опір сошників	$R_{сн}$, Н	3600	Опір сошників	$R_{сн}$, Н	3600
Потужність для приводу висіваючих апар.	$N_{ВА}$, Вт	315	Потужність для приводу висіваючих апар.	$N_{ВА}$, Вт	525
Коефіцієнт перевантаження	ν	1.10	Коефіцієнт перевантаження	ν	1.20
Тяговий ККД	$\eta_{тяг}$	0.55	Тяговий ККД	$\eta_{тяг}$	0.55
Тягова потужність	$N_{кпр}$, Вт	20573	Тягова потужність	$N_{кпр}$, Вт	37434
Потужність двиг.	$N_{дв}$, Вт	37405	Потужність двиг.	$N_{дв}$, Вт	68062
Питома енергоємн.	$E_{сн}$, кВт/м	10.4	Питома енергоємн.	$E_{сн}$, кВт/м	18.9
Питомий тяговий опір	P_{num} , кН/м	2.29	Питомий тяговий опір	P_{num} , кН/м	2.49
Теоретична продуктивність	$W_{мс}$, га/год	3.24	Теоретична продуктивність	$W_{мс}$, га/год	5.40
Питома продуктивність	W_{num} , га/год	0.90	Питома продуктивність	W_{num} , га/год	1.50
Критерій ефективності	$\frac{P_{num}}{W_{num}}$ кВт/с.м	2.54	Критерій ефективності	$\frac{P_{num}}{W_{num}}$ кВт/с.м	1.60

Графічні залежності Динаміка зміни техніко-експлуатаційних показників зернових сівалок представлена на рис.10.18-10.20.

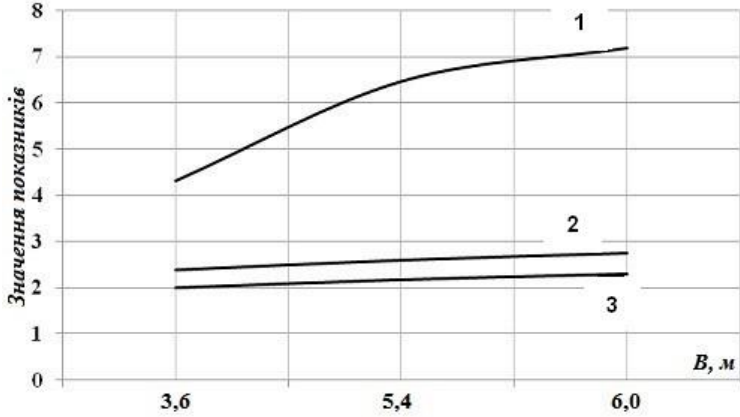


Рисунок 10.18 – Залежність динаміки зміни техніко-експлуатаційних показників зернових сівалок типу СЗ залежно від ширини захвату: 1 – теоретична продуктивність W_m , га/год; 2 – питомий тяговий опір p_{num} , кН/м; 3 – критерій ефективності p_{num}/W_{num}

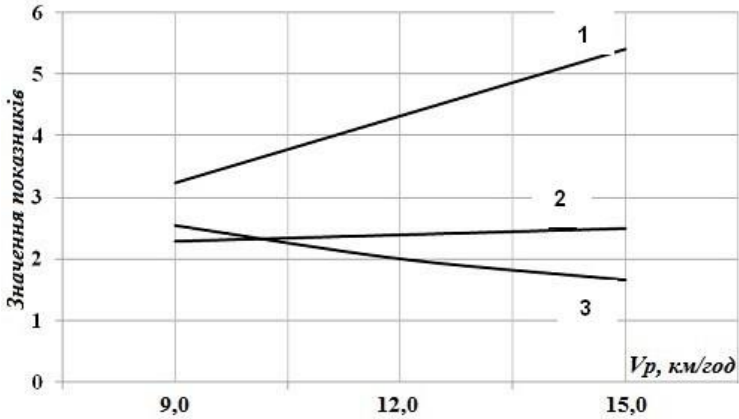


Рисунок 10.19 – Залежність динаміки зміни техніко-експлуатаційних показників зернової сівалки СЗ-3,6 в залежності від швидкості руху: 1 – теоретична продуктивність W_m , га/год; 2 – питомий тяговий опір p_{num} , кН/м; 3 – критерій ефективності p_{num}/W_{num}

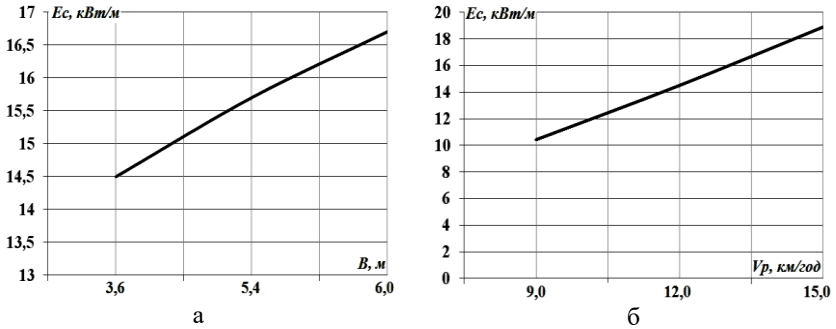


Рисунок 10.20 – Залежність динаміки зміни питомої енергоємності зернових сівалок: при підвищенні ширини захвату (а); при збільшенні швидкості руху (б)

Аналізуючи дані табл.10.8, 10.9 і представлені графічні залежності (рис.10.18-10.20) встановлено, що у разі підвищення швидкості руху питомий тяговий опір зернових сівалок зростає менш інтенсивно, ніж при збільшенні ширини захвату.

Згідно роботи [120], питомий тяговий опір для більшості сільськогосподарських знаряд із збільшенням швидкості руху збільшується за законом, близьким до лінійного, або його може бути лінеаризовано, що не суперечить отриманій залежності, представленій на рис.10.20.

Виявлено збільшення значення критерію ефективності при збільшенні ширини захвату внаслідок приросту тягового опору та зростання тангенціальних напружень. При збільшенні швидкості руху він зменшується, що свідчить про перевагу збільшення швидкостей руху для підвищення продуктивності посівних агрегатів.

Встановлені залежності не суперечать роботі [119], у якій наводяться відомості про ефективність підвищення швидкостей руху МТА до 15 км/год. Однак в цій же роботі також зазначена необхідність впровадження нової техніки для сівби на підвищених швидкостях.

Як показано на рис.10.22, при збільшенні швидкостей руху має місце більш інтенсивний приріст питомої енергоємності роботи зернових сівалок. Однак у разі підвищення ширини захвату в значній мірі (на 18%) зростає питома матеріаломісткість зернових сівалок (табл.10.8). Згідно роботи [120] для всіх машин і знарядь, включаючи зернові сівалки загальною тенденцією є зниження величини їх ККД зі збільшенням швидкості руху агрегату. Ця обставина виступає негативним явищем при підвищенні швидкостей руху, вимагає аналізу і дослідження способів мінімізації негативного ефекту.

Режиму роботи посівного МТА знайдемо з графічних досліджень відповідних показників ефективності.

З цією метою представимо суміщену характеристику посівного МТА, подану на рис.10.21. Зазначимо, що на ньому прийняті тягові показники

трактора МТЗ-82 з баластним вантажем масою 4840кг, за даними випробувань на полі, підготовленому до сівби, за результатами роботи.

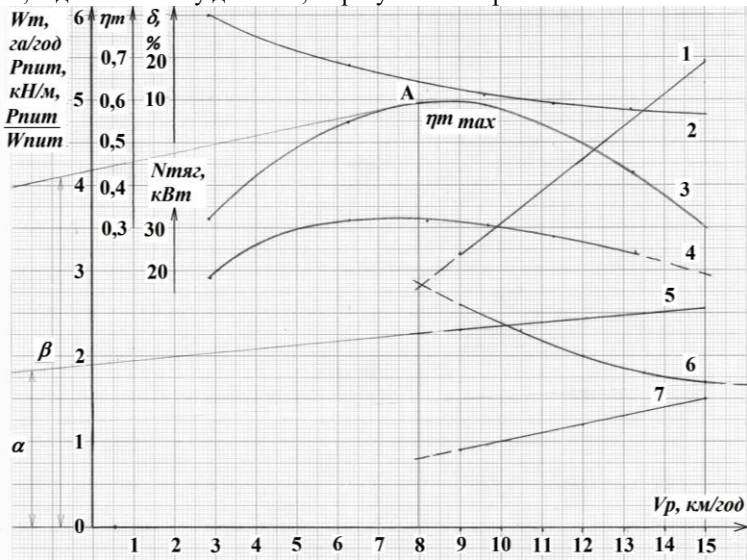


Рисунок 10.21 – Суміщена характеристика посівного МТА: 1 – теоретична продуктивність W_m , га/год; 2 – буксування трактора δ , %; 3 – тяговий ККД трактора η_m ; 4 – тягова потужність трактора N_m , кВт; 5 – питомий тяговий опір p_{num} , кН/м; 6 – критерій ефективності p_{num}/W_{num} ; 7 – питома продуктивність W_{num} , га/год*м

Покажемо, що при лінійній зміні опору зернової сівалки в залежності від швидкості, задача знаходження оптимальних значень показників ефективності зводиться до наступних графічних побудов:

– пряму 5, що зображає залежність опору зернової сівалки від швидкості, продовжуємо до перетину з абсцисою в т. O_1 (т. O_1 умовно не показана. На реальному графіку відстань ГО 1 становить 407мм). При цьому кут нахилу прямої 5 до осі абсцис $\alpha = 6^\circ$;

– з точки O_1 проводимо дотичну до залежності 3, що відображає динаміку значень тягового ККД трактора, кут нахилу дотичної до осі абсцис $\beta = 12^\circ$.

Точка дотику A на кривій 3 ККД відповідає режиму оптимальної швидкості руху тягового ККД даного трактора.

Наслідком з наведених міркувань є відомий факт, згідно роботі [120], щодо розбіжностей режимів максимальної продуктивності МТА з режимом максимального тягового ККД трактора. В результаті зростання сили опору будь-якого сільськогосподарського знаряддя максимум продуктивності завжди зміщений в зону менших швидкостей руху і підвищення тягових

зусиль, що реалізуються підвищенням ширини захвату МТА. Очевидно, що розбіжність тим більше, чим більше змінюються по швидкості тяговий ККД трактора і опір знаряддя.

Отже виходячи з рис.10.24, для розглянутого посівного агрегату максимальний тяговий ККД відповідає швидкості руху $V_p = 8\text{км/год}$ при максимальній тяговій потужності $N_m = 31.8\text{кВт}$, а швидкісному режиму $V_p = 15\text{км/год}$ – відповідає тяговий ККД $\eta_m = 0.3$ і тягова потужність трактора $N_m = 18\text{кВт}$, що в два рази нижче необхідної для сівалки при даній швидкості руху.

Однак тут мають місце і позитивні тенденції. Як випливає з рис.10.21, при підвищенні швидкостей руху в два рази знижується буксування трактора (з 14 до 7%), у два рази зростає продуктивність МТА (з 2.8 до 5.4га/год) і в 1,8 рази поліпшується запропонований показник ефективності посівної машини (з 2.85 до 1.6Нгод/га), який має тенденцію до стабілізації (залежність b на рис.10.4) при значенні 1.6Нгод/га, що відповідає виразу (10.12).

Для покращення динаміки показників роботи трактора, щодо тягових ККД, і потужності, щодо енергоємності робочого процесу посівного МТА при підвищенні швидкостей руху та зниженні матеріаломісткості зернових сівалок при підвищенні ширини захвату необхідно реалізувати конструктивно-технологічні заходи: підвищувати ККД машин зменшуючи матеріало- і енергоємними.

З цією метою, для перспективних зернових сівалок пропонується застосування компоувальної схеми групового висіву з малоенергоємними висівними апаратами вепольного дискретного принципу дії.

Визначено, що висіваючі апарати вепольного вібродискретного принципу дії в компоувальних схемах з груповим висівом не застосовують, оскільки наявні труднощі з подачею насіння по насіннепроводам у випадках значних кутів їх нахилу. Тоді перспективним буде застосування дискретних висівних апаратів з елементами пневмоніки. Зернові сівалки з такими висівними апаратами при інших рівних умовах мають більш низьку (на 13%) енергоємність робочого процесу, у порівнянні з іншими видами сівалок.

Визначено, що питому енергоємність роботи зернової сівалки при 15км/год ($E_c = 18.9\text{кВт/м}$) можливо знизити на 13%, або на 2.3 кВт/м. Це дає значення енергоємності $E_c = 16.6\text{кВт/м}$ або отримати економію потужності двигуна у 8.3кВт, при ширині захвату 3.6 м, або економію тягової потужності порядку 17 кВт при тяговому ККД $\eta_m = 0.5$.

Із застосуванням зернових сівалок з компоувальною схемою групового висіву і висівними апаратами на основі нових механіко-технологічних принципів дії можна вважати енергетично обґрунтованим підвищення робочих швидкостей руху, без суттєвого приросту питомої енергоємності робочого процесу.

Відповідно до гідродинамічної аналогії, величиною, яка зворотня умовній динамічній в'язкості μ^* є умовна кінематична в'язкість:

$$\nu^* = \frac{\mu^*}{\rho^*}, \text{ м}^2/\text{с}, \quad (10.19)$$

де ρ^* – умовна щільність, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Виходячи з формули (10.19), можна зробити висновок, що одиниці вимірювання кінематичної в'язкості відповідають одиницям вимірювання продуктивності, тобто кінематичний коефіцієнт в'язкості ν^* еквівалентний продуктивності W . Замінивши у формулі (10.19) величину μ^* запропонованим критерієм ефективності і визначивши фізичний зміст умовної щільності, отримано величину продуктивності. Як бачимо, формули (10.12)–(10.19) знаходяться у відношенні взаємно однозначної відповідності (ізоморфізму) з класичними фізичними категоріями, тобто вони мають однакову абстрактну структуру.

Висновки по розділу 10

1. З'ясовано сутність проблеми виробництва зернових сівалок з підвищеною ефективністю. Побудовано структурну схему основних факторів, що визначають ефективність роботи зернових сівалок. Встановлено, що у виробництві довільне збільшення їх маси, зниження паливної економічності, трудомісткості обслуговування, нечіткого режиму роботи і лише ненадовго підвищує продуктивність праці. Із збільшенням ширини захвату також погіршується копіювання нерівностей ґрунту сошниками посівних машин, вимагає підвищення потужності трактора в МГА. Вдосконалення висівних апаратів і сошникової групи дозволяє підвищити робочу швидкість зернових сівалок до 15 км/год. Є потреба в дослідженні показників динаміки зміни продуктивності ширина захвату і швидкості руху сівалки.

2. Останнім часом актуальним у виробничих системах є прискорене зростання витрат енергії на одиницю продукції: коефіцієнт ефективності вкладення одиниці техногенної енергії в ґрунт зменшився з 4.0 до 1.5. Підвищення врожайності зернових культур в 2.5...3.0 рази супроводжується зростанням питомих витрат антропогенної енергії в 10...15 разів і більше. Землеробство перетворюється в дуже енергоємну галузь. Зростання витрат енергії зумовлене неповним знанням механізмів явищ, неоптимальністю і невпорядкованістю процесів, відсутністю оперативного управління процесами і системного підходу при розробці технічних засобів механізації сільськогосподарського виробництва. Середня енергоємність технологій процесів, які виконуються вітчизняними сільськогосподарськими машинами в 1.5...2.5 рази більше, ніж у їхніх закордонних аналогів.

3. Для оцінки ефективності СГТ пропонується значна кількість критеріїв, більшість з яких економічні. Серед них найбільш характерними є: мінімум часу на виконання робіт, мінімум яких експлуатаційних витрат і балансової вартості машин, мінімум витрат живої праці, максимальної ефективності праці. При оцінці застосовуються на один критерій, а ціла система натуральних і вартісних показників. Зазначено, що в

агропромислового виробництві, енергоємність повинна бути основним критерієм технологічності та конструктивності машин. Більш точно повинен бути реалізовано принцип оптимальної енергоємності технологічних процесів і засобів механізації. Для сільськогосподарських машин не виявлено уніфіковані критерії, залежності і математичні моделі, що визначають єдині шляхи і методи зниження енергоємності конструкцій і робочого процесу.

4. Для оцінки технічного рівня і ефективності застосування машин пропонуються складні підходи, методи та критерії – структурні моделі та циклограми технічного рівня, узагальнені показники комплексної оцінки на основі функції Харрінгтона. В якості критерію оптимальності пропонується використання мінімуму питомих енерговитрат при робочому ході МТА. Критерії можна інтерпретувати як прагнення до зниження жорсткості процесу, яка виражається приростом непродуктивних енерговитрат. Аналогічно розглядається відносна питома енергоємність та енергетичні критерії є різновидами загального співвідношення між витратами і ефективністю, що є загальною підставою для пошуку і встановлення нових критеріїв ефективності. Ефективність конструкцій і робочого процесу зернових сівалок визначаються показниками ефективності, а подальше дослідження мають бути спрямовані на аналіз динаміки зміни і розвитку критеріїв та показників, а також на визначення можливих шляхів і способів їх поліпшення.

5. Розглянуто основні тенденції розвитку конструкцій висівних апаратів і систем зернових сівалок на основі принципів і закономірностей еволюції розвитку та застосування нових технічних засобів для здійснення процесу висіву. Показано, що розробка першого покоління посівних машин відноситься до третього технологічного укладу. При проектуванні елементів конструкцій використано закони механіки. На основі можливо зробити фізичні властивості ґрунту; опису характеру руху насіння і добрив через дільник по трубопроводам і деякі через сошник в ґрунт; визначено траєкторію руху елементів МТА по складному рельєфу поля. Розробка другого покоління посівних машин може бути умовно віднесено до четвертого техноукладу і базується на застосуванні законів механіки, електротехніки і гідравліки, використовуваних для розрахунку елементів конструкції. Відмічено, що потрібними є системи автоматичного управління дозуючих пристроями, реалізація систем нерозривної передачі потужності від двигуна до трансмісії.

6. Третє покоління посівної техніки являє собою пристрої, що подають насіння в сошник під дією сил повітряного потоку. Швидкість останнього збільшується по відношенню до реалізації на машинах другого покоління. Третє покоління посівних машин відрізняється від другого більш широким застосуванням інформаційних технологій і відповідає п'ятому техноукладу. Принциповою відмінністю є максимальна автоматизація, здійснювана на рівні комплексів, кожен з яких складається з автоматизованих модульних цифрових систем, об'єднаних єдиним операційним середовищем. З'ясовано, що запропонована концепція відображається перенесенням функціонального

навантаження від механічних вузлів до інтелектуальних: електронних, комп'ютерних та інформаційних.

7. Виявлено, що динамічні закони розвитку виробничих систем, щодо технічних засобів агропромислового виробництва свідчать про дію технічних і фізичних факторів, та процеси функціонування і розвитку систем. Спостерігається, що розвиток виробничих систем йде в напрямку збільшення ступеня вепольності. Для підвищення ефективності виробничих систем вони повинні мати вепольну структуру. У вепольних системах розвиток йде в напрямку переходу від механічних полів до імпульсних і деякі до електромагнітних, збільшення дисперсності речовин і кількості зав'язків між елементами. В даний час має місце тенденція вепольного розвитку висівних апаратів і систем. Застосування електроніки дозволяє розширити і посилити функціональні можливості механічних систем і призводить до створення машин з новими можливостями. Тільки створення систем автоматичного управління і регулювання на базі мікроелектроніки і мікропроцесорної техніки, збільшення швидкості обробки інформації дозволить підвищити технічний рівень засобів механізації. Функціональне навантаження переноситься від механічних вузлів до інтелектуальних (електронних, комп'ютерних та інформаційних) компонентів, які легко перепрограмовуються під нове завдання і є відносно дешевим. При цьому автоматизація потребує взаємозв'язок електронізації. Вирішення перспективних завдань автоматизації МТА та їх комплексів вимагає поглиблених теоретичних досліджень з аналізу, синтезу та оптимізації систем керування машинами і агрегатами. В землеробській механіці формується новий напрям – теорія систем керування машинами, агрегатами і комплексами, тобто землеробська технічна кібернетика фундаментальною відмінністю нового покоління виробничих технологій і машин є інтегровані знання з високоточної механіки і комп'ютерного управління, інформаційних технологій та мікроелектроніки. Сучасну фазу розвитку техніки можна віднести до п'ятого технологічного укладу. Визначено, що виробники сільськогосподарської продукції для прогресивного розвитку техніки мають поступово переорієнтуватися на використання мультиопераційної, комп'ютеризованої енерго- і ресурсозберігаючої техніки. З відповідністю до сучасних екологічних вимог й забезпечення біологічної та екологічної рівноваги.

8. Розроблена програма теоретичних досліджень показників ефективності виробництва зернових сівалок, висівних апаратів і систем, запропоновано її структурну послідовність. Виявлено, що найбільш характерною закономірністю життєвого циклу розвитку різних типів об'єктів і процесів, обумовлений багатьма складно взаємодіючими факторами на протязі великих інтервалів часу, є s-подібна логістичною кривою залежності між показниками експлуатаційно-економічної ефективності машин або виробничих процесів і систем. Прогнозування за допомогою s-функції дозволяє встановити невикористання можливості застосованого принципу дії та можливо сформульовані напрямки покоління показників ефективності. В

роботі використано метод інтелектуального аналізу даних та виділені етапи його реалізації. Метод використовує методи нечіткої логіки, нейронні мережі й еволюційне обчислення на основі генетичних алгоритмів.

9. Розглянуто закономірності розвитку технічного рівня зернових сівалок з механічними висівними апаратами на основі інтелектуальних методів за сто років (1917...2017 рр.). Першим етапом інтелектуального аналізу даних був збір ретроспективних даних. Другим етапом була попередня обробка даних і інтеграція – об'єднання даних з декількох можливих джерел в одній базі і перетворено їх до форми, придатної для аналізу. В якості основних показників, що характеризують технічний рівень і роботу зернових сівалок, прийняті технологічні: теоретична швидкість руху, теоретична продуктивність, питома продуктивність, а також конструктивні: ширина захвату, конструктивна маса, матеріаломісткість. Виявлення динаміки зміни показників здійснюване за розробленим програмним забезпеченням на основі інтелектуальних методів генетичних алгоритмів. Встановлено, що найбільш оптимальною зазначеною зміни значень показників середньої питомої продуктивності і від часу є рівняння кубічної регресії, а залежність конструктивних показників ефективності – описується квадратичним рівнянням регресії.

10. На підставі отриманих даних та враховуючи інтелектуальні методи побудовані там паралельні залежності динаміки зміни значень сукупності показників розвитку зернових сівалок з механічними висівними апаратами. Розглядаючи графічні інтерпретації s-функції, що характеризують середню швидкість, продуктивність і питому продуктивність зернових сівалок визначено, що вони мають тенденції до насичення в певний момент часу. В той час графіку s-функцій конструктивних показників мають тенденції до безперервного зростання. Визначені залежності підтверджують, розвитку зернових сівалок з механічними котушковими висівними апаратами підпорядковується логістичній закономірності і має межу насичення, а закладений принцип дії за показником ефективності приймає граничні характеристики. Виявлено, що у кожному періоді зростання або зміна показників розвитку машин у часі відбувається безперервно, але з різною швидкістю спостерігаються невеликі стрибки, пов'язані з освоєнням і впровадженням нових технологій виробництва, конструктивних механізмів і видів техніки, збільшуючи витрати енергії на одиницю роботи, чи продукції, зростають капітальні та експлуатаційні витрати. Остання відображається як збільшення "опору середовища": чим більше передається потужність, тим більше і витрати.

11. При прогнозуванні на основі часових рядів використовуються методи регресивного аналізу, ковзних середніх та експоненціальне згладжування. Побудовані прогностичні графіки насичення та виявлені відповідні прогностичні значення показників. Визначено, що для зернових сівалок з механічними висівними апаратами принципово не вдається знизити матеріаломісткість до оптимальної в даних соціальних та техніко-економічних умовах, з одночасним пропорційним підвищенням ефективності

і продуктивності, оскільки вже досягнуті максимальні значення показників, відповідні даному принципу дії. Отримані рівняння темпоральної динаміки зміна продуктивності для сівалок СУ-24, СЗ-3,6. Узагальненим прогнозом є s-функція, що складається з двох сегментів.

12. Аналогічно до визначення показників ефективності зернових сівалок з механічними висівними системами розглянуто закономірності розвитку технічного рівня зернових сівалок з пневматичними централізованими висівними системами. В результаті реалізації генетичних алгоритмів отримавши s-функції, що відображають динаміку відповідного показника. Розглянуто немітування програми із застосуванням рангового методу й можливості його застосування як для максимізації, так і мінімізації функцій. Встановлено, що залежність показника середньої теоретичної продуктивності від часу є кубічним рівнянням регресії, а для інших показників – квадратичне рівняння регресії. Підтверджена адекватність отриманих регресійних рівнянь, тобто можливість їх використання для опису динаміки зміни показників в ефективності сівалок з пневматичними висівними системами. Визначено темпоральні залежності динаміки зміни значень показників розвитку зернових сівалок з пневматичними висівними системами. Здійснено прогнозування значень показників ефективності сівалок з пневматичними висівними системами. Аналіз прогностичних графічних залежностей встановив, що середня продуктивність приймає вигляд s-функції. Аналогічну залежність мають питома продуктивність та матеріаломісткість.

13. Динаміка зміни питомого тягового опору і питомої продуктивності дали можливість запропонувати критерій ефективності, що містить питомий тяговий опір та питому продуктивність. З якості граничного значення критерію ефективності прийнято "золотий" перетин або золота пропозиція. Граничне значення критерію ефективності дорівнює 1,618. Визначено фізичний зміст запропонованого критерію. Проведено розрахунок динаміки зміни техніко-експлуатаційних показників сівалок в залежності від ширини захвату, швидкості руху. Побудована суміщена характеристика посівного МТА. Пропонується для перспективності розвитку сівалок застосування компоновальної схеми групового висіву з малоенергоємними висівними апаратами дискретного принципу дій.

Список використаних джерел до розділу 1

1. Аулін В.В., Голуб Д.В. Стан структури та основні напрямки розвитку пасажирського транспорту загального користування в м. Кіровограді. *Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2007р. Вип. 18. С.288-291.
2. Аулін В.В., Кулешков Ю.В., Павлюк-Мороз В.А., Соловський В.С. Загальна методика досліджень в технічних та природничих науках. *Проблеми трибології (Problems of tribology)*. 2002. №1. С.186-196.
3. Статистичні методи обробки та аналізу економічних даних ISBN – 966-7531-32-5 : навч.посіб. / Аулін В.В. та ін. Кіровоград, 2003.
4. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. Питер, 2000.
5. Аулін В.В., Дігтяр Б.С., Цвігун Н.М. Використання математичного моделювання для оцінки ефективності функціонування фінансового механізму. *Наукові записки. Сер. Математичні науки*. 2006. Вип. 65. С.8-17.
6. Искусственный интеллект: в 3-х т. Т. 1. Системы общения и экспертные системы / Э.В. Попов. Москва : Радио и связь, 1990.
7. Аулін В.В., Солових А.Є. Проблеми регіональної інвестиційної стратегії та моделювання процесів її формування. *Теорія і практика перебудови економіки*. 2000. С.111-113.
8. Використання економіко-математичного моделювання та інформаційних технологій для забезпечення ефективного управління регіональної економіки / Аулін В.В. та ін. *"Нові інформаційні технології навчання в навчальних закладах України"*. 2001. Вип.7. С.236-239.
9. Ларичев О.И. Системы, основанные на экспертных знаниях: история, современное состояние и некоторые перспективы. *Искусственный интеллект* : Сб. науч. тр. VII нац. конференции. Москва, 2000.
10. Аулін В.В., Голуб Д.В., Жулай О.Ю., Панчул С.О. Практична реалізація рівнів отримання інформації в системі діагностичного моніторингу технічного стану двигунів транспортних засобів у с/г виробництві. *"Актуальні проблеми та наукові звернення молоді на початку третього тисячоліття"*: 2008 рік : матеріали тез I Всеукр. наук. конф. студ., маг., асп. і докторантів / 12-14 листопада 2008 р. Луганськ: "Елтон-2", 2008. С. 254-257.
11. Аулін В.В., Івашук В.О., Каськов В.С. Моделювання системи рейтингового управління. *Теорія і практика перебудови економіки*. 2000. С.107-109.
12. Аулін В.В., Солових А.Є., Дігтяр Б. Економіко-математичне модулювання процесів управління підприємством в умовах господарського ризику і невизначеності. *Наук. праці КДТУ. Екон. науки*. 2000. Вип.8. С.151-156.
13. Аулін В.В., Віхрова Л.Г., Бісюк В.А. Програмно-технічні засоби для автоматизації виробничого процесу зміцнення деталей машин

індукційним наплавленням. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2007. №2. – т.2 (90). С.91-94.

14. Аулін В.В., Жулай О.Ю., Бобрицький В.М. Теоретичні основи діагностичного моніторингу і системи керування технічним станом мобільної сільськогосподарської техніки. *Праці Таврійської держ. агротехн. академії*. 2006. Вип.39. С.43-54.

15. Аулін В.В., Солових А.Є. Методологічні аспекти застосування математичних методів і моделей в економіці. *Наукові праці КДТУ. Екон. науки*. 2000. Вип.8. С.147-150.

16. Bouchet C., Brunet C., Anjewierden A. SHELLY: An integrated work - bench for KBS development. *Proc. of 9th Int. Mbrkshop Expert Syst. and their Appl.* 1989. No.1.

17. Durkin J. Expert Systems: a view of the field. *IEEE Expert*. 1996. No.2.

18. Аулін В.В., Лисенко С.В., Онолов М.В., Панчул С.О., Слонь В.В. Автоматичне керування процесом зношування деталей ДВЗ реалізацією процесу самоорганізації. *"Молодежь и с/х техника в XXI веке"*: матеріали V-го междунар. форуму молодіжи. Харків: ХНТУСХ. 2009. С. 6-7.

19. Аулін В.В., Лівіцький О.М. Інформаційне забезпечення в системі технічного сервісу, діагностичного моніторингу та охорони праці в с/г виробництві. *Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин* 2009р. Вип.39. С. 287-291.

20. Боровской А.Е., Новиков И.А., Шевцов А.Г. Внедрение интеллектуальных транспортных систем в рамках национальных программ повышения безопасности дорожного движения. *Вестник ХНАДУ*. 2013. Вип. 61-62. С. 279-284.

21. Петров Е.А., Краус В.А. Уровни управления интеллектуальной транспортной системой. *Вестник СибАДИ*. 2013. Вип. 3 (31). С 61-66

22. Капский Д.В., Навой Д.В., Пегин П.А. Управление в интеллектуальной транспортной системе. *Наука и техника*. 2018. т. 17. №5. С. 401-412.

23. Хаханов В.И., Литвинова Е.И., Чумаченко С.В., Филипенко О.И. Интеллектуальное облако управления движением (Smart Cloud Traffic Control). *Информационные технологии*. 2013. №2. С. 67-76

24. Зеленая волна – облако мониторинга и управления дорожным движением (Green Wave Traffic on Cloud) / Хаханов В.И. и др. *Автоматизированные системы управления и приборы автоматики*. 2012. № 160. С. 4-21.

25. Hahanov V.I., Guz O.A., Ziarmand A.N., Ngene Christopher Umerah, Arefjev A. Cloud Traffic Control System. *Proc. of IEEE East-West Design and Test Symposium*. 2013. P.72-76.

26. Hahanov V., Gharibi W., Baghdadi Ammar Awni Abbas, Chumachenko S., Guz O., Litvinova E. Cloud traffic monitoring and control. *Proceedings of the IEEE: 2013: 7th International conference on intelligent data acquisition and advanced computing systems (IDAACS)*. 2013. P. 244-248.

27. Кудрявцева А. С. Киберфизическая система как развитие автоматизации на всех этапах жизненного цикла деятельности предприятия на основе внедрения цифровых технологий. *Системный анализ в проектировании и управлении*. 2019. № 1. С. 312-320.
28. Pandit A.A., Talreja J., Mundra A.K. RFID Tracking System for Vehicles (RTSV). First International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks. 2009. P.160-165.
29. Jiang Lin-ying, Wang Shuai, Zhang Heng, Tan Han-qing. Improved Design of Vehicle Management System Based on RFID. *Intelligent System Design and Engineering Application (ISDEA)*:International Conference 2010. Vol. 1. P. 844-847.
30. Chen Xue-Mei, Wei Zhong-Hua. Vehicle management system based on multinode RFID cards. 30th Chinese Control Conference (CCC). 2011. P. 5497-5499.
31. Дудников С., Боенок И. Бесконтактная идентификация транспорта, основанная на RFID. *Компоненты и технологии*. 2007. №1.
32. Manikondan P., Yerrapragada A.K., Annasamudram S.S. Intelligent traffic management system. *Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technology (STUDENT)*: IEEE Conference. 2011. P. 119-122.
33. Samad T. Perspectives in Control Engineering Technologies, Applications, and New Directions. *Intelligent Transportation Systems: Roadway Applications*. 2001. P. 348 -369.
34. Schutte J. Recent trends in automatic train controls. *IEEE Intelligent Transportation Systems*. 2001. P. 813 -819.
35. Branisso L.B., Kato E.R.R., Pedrino E.C., Morandin O., Tsunaki R.H. An Intelligent Autonomous Vehicle Management System. *Critical Embedded Systems (CBSEC)*: Second Brazilian Conference. 2012. P. 42-47.
36. Хаханов, В. И., Обризан, В. И., Мищенко, А. С., Филиппенко, И. В.. Киберфизические системы как технологии киберуправления (аналитический обзор). *Радиоэлектроника и информатика*. 2014. № 1. С. 39-45.
37. Емельянов И. В., Любарский М. М. Квантовые модели и облачные сервисы для анализа и диагностирования логических схем. *Радиоэлектроника и информатика*. 2017. № 4. С. 30-47.
38. Ручкин В. Н., Костров Б. В., Колесенков А. Н. Трехуровневый экспресс-мониторинг чрезвычайных ситуаций на базе интеллектуальных КФС. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2017. № 2. С. 164-172.
39. Кудж С. А., Цветков В. Я. Сетецентрическое управление и киберфизические системы. *Образовательные ресурсы и технологии*. 2017. № 2 (19). С. 86-92.
40. Bortyakov D.E., Mescheryakov S.V., and Shchemelinin D.A. Integrated Management of big data traffic systems in distributed production environments. *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление*. 2014. № 1. С. 105-113.

41. Аулін В.В., Методологія розв'язання проблеми підвищення зносостійкості деталей і робочих органів сільськогосподарської техніки. *Вісник ЖНАЕУ*. 2014. № 2, т.4, ч.ІІ. С. 80-91.

42. Аулін В.В., Голуб Д.В., Плохов І.О. Підвищення ефективності використання рухомого складу при перевезенні пасажирів. зб. матеріалів доп. учасн. XLVI наук. конф. Кіровоград: КНТУ, 2015. С. 4-5.

43. Аулін В.В., Голуб Д.В., Плохов І.О. Учет объема пассажиропотока при корректировании сроков технического обслуживания подвижного состава городского транспорта. *Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: Эксплуатация и развитие автомобильного транспорта [Текст]:* мат. X междунар. заочн. науч.-техн. конф. 15 мая 2015 г., Пенза: ПГУАС, 2015. С. 27-38.

44. Аулін В.В., Голуб Д.В. Надійність функціонування транспортної системи як чинник підвищення ефективності економіки країни. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали VIII міжн. наук.-практ. конф. 19-21 жовтня 2015 р. Вінниця: ВНТУ, 2015. С. 13-16.

45. Аулін В.В., Гриньків А.В. Проблеми і задачі ефективності системи технічної експлуатації мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія технічні науки*. 2016. №2. С.36-41.

46. Аулін В.В. Зв'язок форм авторегулювання (квалікерування) і властивостей ТТС в синергетиці підвищення їх надійності. *Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій*: збір. мат. доповідей IV-ої міжнар. інтернет-конф. Вінниця: ВНТУ, 2016. С.11-12.

47. Аулін В.В., Гриньків А.В. Теоретичне обґрунтування моментів контролю технічного стану систем і агрегатів засобів транспорту. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2017. №8. С. 9-20.

48. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем Аулін В.В. та ін. ; за ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. Кропивницький, 2017. 370 с.

49. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Виявлення основних проблем сфери нормативного регулювання напрямків забезпечення та підвищення надійності автомобільних транспортних систем в Україні *Підвищення надійності машин і обладнання*: збір. мат. доповідей XI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців. Кропивницький: ЦНТУ, 2017. С. 24-26.

50. Аулін В.В., Біліченко В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О. Дослідження шляхів і сукупності факторів забезпечення належного рівня ефективності і надійності транспортних систем. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали X міжнародної науково-практичної конференції, 23-25 жовтня 2017 р. Вінниця: ВНТУ, 2017. С.21-24.

51. Аулін В.В., Біліченко В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О. Методологія підходів до дослідження шляхів і сукупності факторів забезпечення належного рівня ефективності і надійності транспортних систем. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2017. №2. С. 4-14.

52. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологія визначення основних експлуатаційних властивостей та якості функціонування транспортних і технічних систем. *Вісник інж. академії України*. 2017. №2. С.110-115.

53. Аулін В.В., Гриньків А.В. Прогнозування технічного стану систем і агрегатів засобів транспорту на основі класифікації діагностичних часових рядів з пам'яттю. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки*: матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції. Кропивницький: ЦНТУ, 2017. С. 4-6.

54. Аулін В.В., Гриньків А.В. Реалізація удосконалення стратегії технічної експлуатації засобів транспорту та її техніко-економічна оцінка. *Актуальні задачі сучасних технологій*: зб. мат. доповідей Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. С.12-13.

55. Аулін В.В., Голуб Д.В. Методи оцінки і аналізу надійності автомобільних транспортних систем. *Актуальні задачі сучасних технологій*: зб. мат. доповідей Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. С.14-15.

56. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічне обґрунтування дослідження та розв'язання проблеми надійності функціонування транспортних систем. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2017. №10. С. 2936.

57. Аулін В.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Підвищення ефективності транспортних систем в АПК на основі логістичного підходу *Крамаровські читання: 2018 рік*: зб. мат. доповідей V Міжнародної науково-технічної конференції м. Київ: НУБіП, 2018. С. 135-138.

58. Аулін В.В., Голуб Д. В., Біліченко В. В. Формування критеріїв ефективності функціонування транспортних систем. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: 2018 рік*: матеріали VI-ої міжнародної науково-практичної інтернетконференції, 12-13 квітня. Вінниця: ВНТУ, 2018. С.11-13.

59. Аулін В.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Оптимізація і управління ресурсами в транспортнологістичній системі АПК *Наукові нотатки*. 2018. №62. С.8-11.

60. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Критерії реалізації процесів забезпечення та підвищення надійності і ефективності функціонування транспортних систем. *Наукові нотатки*. 2018. №62. С.12-16.

61. Аулін В.В., Гриньків А.В., Голуб Д.В., Агапоненко М.І. Розробка критерію вдосконалення системи технічної експлуатації засобів транспорту з врахуванням необхідної діагностичної інформації. *Наукові нотатки*. 2018. №62. С.17-20.

62. Аулін В.В., Великодний Д.О. Методи формування системи транспортнотехнологічного забезпечення в АПКю *Транспорт і логістика: проблеми та рішення*: матеріали VIII-ї Міжнародної науковопрактичної конференції, 23-25 травня 2018р. Одеса: Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, Одеський національний морський університет, 2018. С. 15-17.

63. Аулін В.В., Аналіз напрямів підвищення надійності автомобільних транспортних систем. *Підвищення надійності машин і обладнання* зб. мат. доповідей XII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. С. 87-91.

64. Аулін В.В., Голуб Д.В. Можливі методи вирішення проблеми підвищення надійності та ефективності функціонування транспортних систем, підсистем та їх елементів *Підвищення надійності машин і обладнання*: зб. мат. доповідей XII Всеукраїнської науковопрактичної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. С. 161-164.

65. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Удосконалення системи транспортного обслуговування підприємств агропромислового виробництва. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2017. Вип. 47, ч.ІІ. С. 3-10.

66. Viktor Aulin, Denis Velykodnyi, Viktoriya Dyachenko Concept of development and formation of transportlogistic systems in the agroindustrial complex. *Modern Management: Logistics and Education*. 2018. P.165-169.

67. Аулин В.В., Замота Т. М., Гринькив А. В., Замота О. М., Чернай А. Е. Преимущества интеллектуальной стратегии технической эксплуатации с точки зрения экономической эффективности. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2018. Вип. 192. С. 29-40.

68. Аулін В.В., Голуб Д.В., Біліченко В.В. Методологічний підхід до визначення рівня якості функціонування транспортних систем. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2018. №1(7). С. 49.

69. Аулін В.В., Голуб Д.В. Методичні аспекти кількісної, якісної та часової оцінки параметрів надійності функціонування транспортних систем. *Вісник Житомирського державного технологічного університету Серія: Технічні науки*. 2018. № 2 (82). С.3-10.

70. Аулін В.В., Панков А.А., Щеглов А.В., Герук С.Н. Посевные машины с пневмодискретными высевающими системами для работы в информационных системах земледелия. *Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве*: 2018. С. 114-117.

71. Аулін В.В., Голуб Д.В., Луценко А.С. Математичний апарат оцінки надійності багатofункціональних транспортних систем. *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного*

транспорту: зб. матеріалів міжнародної науково-практичної інтернет-конференції. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. С.33-41.

72. Аулін В.В., Головатий А.О. Вплив виробничо-технічної бази автотранспортного підприємства на ефективність його роботи та використання парку машин. *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту*: зб. матеріалів міжнародної науково-практичної інтернет-конференції. Кропивницький : ЦНТУ. 2018. С.201-206.

73. Аулін В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О. Підвищення надійності процесу перевезень в транспортних системах різними способами структурного резервування. *Крамаровські читання*: зб. мат доповідей учасників VI Міжнародної науково-технічної конференції. Київ: НУБіП, 2019. С. 68-71.

74. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Замота О.М. Вплив надійності сільськогосподарської та транспортної техніки на оптимальний термін її служби. *Крамаровські читання*: зб. мат доповідей учасників VI Міжнародної науково-технічної конференції. Київ: НУБіП, 2019. С. 83-86.

75. Аулін В.В., Гриньків А.В. Вирішення проблеми підвищення експлуатаційної надійності з використання елементів інформаційних технологій. *Крамаровські читання*: зб. мат доповідей учасників VI Міжнародної науково-технічної конференції. Київ: НУБіП, 2019. С. 91-94.

76. Аулін В.В., Великодний Д.О., Голуб Д.В., Дьченко В.О. Підвищення ефективності управління логістичним ланцюгом постачання в транспортній системі. *Крамаровські читання*: зб. мат доповідей учасників VI Міжнародної науково-технічної конференції. Київ: НУБіП, 2019. С. 195-198.

77. Аулін В.В., Великодний Д.О., Дяченко В.О. Моделювання ланцюга постачання в транспортнологістичній системі. *Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання*: зб. мат доповідей учасників Третьої Всеукраїнської науково-теоретичної конф. Дрогобич.: Посвіт, 2019. С.68-69.

78. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Голуб Д.В. Синергетика підвищення надійності машин використанням моделей марківських процесів. *Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сх машин і знарядь*: зб. мат доповідей учасників V Всеукраїнської науково-практичної конф. Житомир: Житомирський агротехнічний коледж, 2019. С. 242-245.

79. Аулін В.В., Гриньків А.В., Ляшук О.Л., Великодний Д.О. Принципові основи організації та вдосконалення системи технічного сервісу транспортних машин. *Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сх машин і знарядь*: зб. мат доповідей учасників V Всеукраїнської науково-практичної конф. Житомир: Житомирський агротехнічний коледж, 2019. С. 245-248.

80. Аулін В.В., Панков А.О., Гриньків А.В., Голуб Д.В., Щеглов А.В. Розробка інтелектуального мехатронного модуля для системи управління дозуванням. *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси*

(ІРТК2019): зб. мат доповідей учасників Дванадцятої міжнародної науково-практичної конф. Київ, 2019. С.173-175.

81. Viktor Aulin, Olexiy Pavlenko, Denys Velikodnyy, Oleksandr Kalinichenko², Andriy Hrinkiv, Viktoriy Diychenko, Volodymyr Dzyura Methodological approach to estimation of efficiency of the facing of the stock complex of transport and logistic centers in Ukraine ICCPT 2019: *Current Problems of Transport: proceedings of the 1st International Scientific Conference*, Ternopil, Ukraine, 2019. P.120-134.

82. Аулін В.В., Великодний Д.О. Моделювання ланцюга постачання в транспортнологістичній системі. *Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання*: зб. мат доповідей учасників 3-ої Всеукр. наук.теор. конф. Дрогобич.: Посвіт, 2019. С.68-69.

83. Аулін В.В., Голуб Д.В. Забезпечення ефективності функціонування транспортних систем шляхом підвищення надійності структурнофункціональних резервних схем процесу доставки. *Наука – виробництво 2019*: зб. мат доповідей учасників L наукової конф. Кропивницький: ЦНТУ, 2019. С. 17-20.

84. Аулін В.В., Степанов О.О., Кудря Д.Ю., Дібрівний В.С., Голуб Д.В. Оцінка надійності автомобільних транспортних систем з використанням кількісних параметрів. *День науки – 2019, приурочений до 90річчя ЦНТУ*: зб. мат доповідей учасників LIII наукової конф. Кропивницький: ЦНТУ, 2019. С. 53-55.

85. Аулін В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Розв'язання проблеми надійності технологічних процесів вантажних перевезень підприємствами агропромислового виробництва . *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2019. Вип. 1(32). С.36-45.

86. Аулін В.В., Великодний Д. О., Тирса Я. В., Кабак В. Д. Оцінка ефективності функціонування міського пасажирського транспорту з урахуванням вибору маршруту пасажиром / Матеріали VIIIої міжн. наук.практичної інтернетконф. "Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту", 1415 квітня 2020 року: зб. наук. праць / МОН України, ВНТУ [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2020. – С.1516

87. Аулін В.В., Голуб Д. В., Біліченко В. В., Замуренко А. С. Принципи самоорганізації автомобільних транспортних систем. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: 2020*: матеріали VIII-ої міжн. наук.практичної інтернет-конф., 14-15 квітня 2020 р. Вінниця: ВНТУ, 2020. С.17-19.

88. Аулін В.В., Гриньків А В., Головатий А.О. Системна концепція аналізу автотранспортної техніки та зміни її технічного стану під час експлуатації. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту; 2020 рік*: матеріали VIII-ої міжн. наук.практичної інтернет-конф., 14-15 квітня 2020 р. Вінниця: ВНТУ, 2020. С.20-22.

89. Аулін В.В., Голуб Д., Замуренко А. Підвищення ефективності транспортного процесу формування інформаційних потоків в системі

перевезень вантажів. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем: 2020*: матеріали II-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конф., 25-27 березня 2020 р. Рівне : НУВГП, 2020. С. 41-43.

90. Аулін В.В., Гриньків А., Головатий А Рівні завдань та структура функціонування системи технічного сервісу транспортних машин. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем:2020*: матеріали II-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конф. 25-27 березня 2020 р. Рівне : НУВГП, 2020. С. 123-125.

91. Аулін В.В., Голуб Д.В., Біліченко В.В., Замуренко А.С. Формування показників оцінки ефективності транспортного процесу перевезень. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2020. №1(11). С.5-10.

92. Аулін В.В., Лисенко С.В., Гриньків А.В. Модель надійності деталей транспортних машин за процесами реалізації триботехнологій їх припрацювання і відновлення. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2019. Вип. 2(33). С.50-64.

93. Аулін В.В., Замота Т.Н., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Крупица О.В., Панайотов К.К. Обоснование использования современных подходов для усовершенствования диагностирования систем и агрегатов автомобиля. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2019. Вип. 2(33). С.65-75.

94. Аулін В.В., Гриньків А.В. Теоретичне обґрунтування якісного і кількісного приросту надійності електронних систем транспортних машин. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability: 2020*: матеріали Міжнародної науково-практичної конф., 15-17 квітня 2020 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2020. С.129-131.

95. Аулін В.В., Гриньків А.В., Кіберфізичний підхід в дослідження стану технічних систем. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability: 2020*: матеріали Міжнародної науково-практичної конф., 15-17 квітня 2020 р. Кропивницький: ЦНТУ, 2020. С.168-169.

96. Аулін В.В., Гриньків А.В., Голуб Д.В., Лисенко С.В., Головатий А.О. Визначення раціональної схеми доставки вантажних відправлень на основі експериментальних досліджень. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability: 2020*: матеріали Міжнародної науково-практичної конф. “Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability”, 1517 квітня 2020 р. – Кропивницький : ЦНТУ, 2020. – С.197204.

97. Аулін В.В., Гриньків А.В., Головатий А.О. Інтелектуальні транспортні системи як результат впровадження інноваційних ефективних технологій. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability: 2020*: матеріали Міжнародної науково-практичної конф., 15-17 квітня 2020 р. –Кропивницький : ЦНТУ, 2020. С.207.

98. Аулін В.В., Голуб Д.В., Дібрівний В.С., Талалаєв О.М., Шерстюков В.В., Ніколенко Б.М. Інформаційна модель забезпечення надійності та

ефективності транспортних процесів пасажирських перевезень. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability: 2020*: матеріали Міжнародної науково-практичної конф., 15-17 квітня 2020 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2020. С.230-232.

Список використаних джерел до розділу 2

1. Аулін В.В., Івашук В.О., Тендюк А.В. Моделювання процесів регіональної економіки. *Теорія і практика перебудови економіки*. 2000. С.109-111.
2. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О. Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. *Финансы и статистика*, 2000.
3. Аулін В.В., Ауліна Т.М., Магопець О.С., Новіков О.Г. Системноспрямований підхід при викладанні фундаментальних і загальнотехнічних дисциплін. *Теорія та методика навчання фундаментальних дисциплін у вищій школі*. 2003. С. 52–57.
4. Бажин И.И. Информационные системы менеджмента. 2000.
5. Hrynkiv A. Operational evaluation of motor oils of trucks by their thermal oxidative stability. *Технологический аудит и резервы производства*. 2019. № 3 (1). - С. 25-30.
6. Аулін В.В., Жулай О.Ю., Крисенко А.Ф., Лисенко С.В. Рівні отримання інформації про технічний стан двигунів в системі діагностичного моніторингу. *Зб. наук. праць Луганського нац. аграр. університету. Серія: Технічні науки*. 2006. №.65(88). С.21-28.
7. Вагин В.Н., Федотов А.А., Фомина М.В. Методы извлечения и обобщения информации в больших базах данных . *Известия Академии наук. Сер. Теория и системы управления*. 1999. № 5.
8. Аулін В.В., Гамалій В.Ф., Солових Є.К., Солових А.Є. Проблеми маркетингу ринку освітянських послуг. *Економічні проблеми адаптації та розвитку вищої школи в умовах ринку*. 2003. С.5-15.
9. Hrynkiv A. Operational evaluation of motor oils of trucks by their thermal oxidative stability. *Технологический аудит и резервы производства*. 2019. № 3 (1). С. 25-30.
10. Aulin V., Derkach O., Makarenko D., Hrynkiv A., Krutous D., Muranov E. Development of a system for diagnosing bearing assemblies with polymer parts during operation. *Technology audit and production reserves*. № 5/1(55). 2020. pp.18-20.
11. Гаврилова Т.А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. Питер, 2000.
12. Аулін В.В., Віхрова Л.Г., Бісюк В.А., Бобрицький В.М. Програмно-технічні засоби для автоматизації виробничого процесу зміцнення деталей машин індукційним наплавленням. *Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2007р. Вип. 18. С.255-259.
13. Джонс Дж. К. Методы проектирования / пер. с англ. Москва: Мир, 1986.

14. Аулін В.В., Віхрова Л.Г., Бісюк В.А. Розробка комп'ютеризованої АСУ процесом зміння деталей СГТ індукційним наплавленням. *Вісник Харківського нац. техн. університету сільск. господарства*. 2007. Вип. 57, т.2. Харків. С.213-219.

15. Аулін В.В., Чайковський О.Б., Голуб Д.В. Поетапний метод математичного моделювання процесів міських перевезень. *Підвищення надійності машин і обладнання*: зб. матеріалів доповідей учасників Всеукр. студ. наук.практ. конф. Кіровоград: КНТУ, 2008. С. 119-122.

16. Аулін В.В., Замота О.М. Вплив системи технічного обслуговування і ремонту автомобілів на собівартість вантажних перевезень. *Економічні науки*. 2010р. Вип. 17. С.308-315.

17. Аулін В.В., Голуб Д.В. Основні напрямки розвитку пасажирського транспорту в м. Кіровограді *Підвищення надійності машин і обладнання*: зб. матеріалів доповідей учасників Всеукр. конф. 2007. С. 36-38.

18. Аулін В.В., Жулай О.Ю., Лівіцький О.М. Транспортні засоби в агропромисловому комплексі та система діагностичного моніторингу їх технічного стану. *Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин*. 2007р. Вип.37. С. 146-154.

19. Аулін В.В., Голуб Д.В. Алгоритм визначення основних показників процесу перевезень міського транспорту з переважанням приватного транспорту. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. Частина 2*. 2007. №7(125). С. 71-75.

20. Кречетов Н., Иванов П. Продукты для интеллектуального анализа данных. *Computer Week*. Москва. 1997. №1415.

21. Ларичев О.И. Структура экспертных знаний. *Психологический журнал*. 1995. №3.

22. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, а также хроника событий в Волшебных странах. Москва. 2000.

23. Аулін В.В., Голуб Д.В. Поліпшення управління процесами міських пасажирських перевезень на базі впровадження логістичної системи головного маршруту на прикладі м. Кіровограда. *Логістика промислових регіонів*: Матеріали третьої Міжн. наук.практ. конф., 6-9 квітня 2011 р. Донецьк: ЛАНДОН XXI, 2011. С. 19-23.

24. Аулін В.В., Голуб Д.В. Розробка математичної моделі пасажиропотоку з мінімізацією сумарного пробігу порожніх місць ЗМПТ. *Підвищення надійності машин і обладнання*: зб. матеріалів доп. учасн. III Всеукр. студ. наук.практ. конф. Кіровоград:КНТУ, 2009. С. 136-139.

25. Аулін В.В., Жулай О.Ю. Інформаційне забезпечення зміни технічного стану дизелів засобів транспорту. *Вісник інженерної академії України*. 2011. №1. С. 166-172.

26. Аулін В.В., Панков А.А. Эволюционное вычисление жизненного цикла технических средств на основе генетических алгоритмов. *Вісник інж. академії України*. 2017. №2. С.116-119.

27. Аулін В.В., Гриньків А.В., Замота Т.М. Забезпечення та підвищення експлуатаційної надійності транспортних засобів на основі

використання методів теорії чутливості . *Вісник інж. академії України*. 2015. №3. С. 66-72.

28. Аулін В.В., Голуб Д.В. Аналіз системи перевезення пасажирів у містах, основні тенденції її розвитку і шляхи удосконалення. *Вісник НТУ*. 2007. 2 т., ч.2. С. 279-284.

29. Михеенкова М.А., Финн В.К. Правдоподобное рассуждение с информацией о ситуации. 7-ая нац. конф. по искусственному интеллекту с международным участием. Москва, 2000.

30. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем : монографія / за ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В.. Кропивницький: ТОВ "КОД", 2017. 370 с.

31. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / под ред. Д.А. Поспелова. Москва: Наука, 1986.

32. Аулін В.В., Загальні закономірності еволюції та самоорганізації в трибо системах. *Сучасні проблеми трибології*: зб. матеріалів доп. учасн. Міжнар. наук.техн. конф. Київ: ІВЦ АЛКОН НАН України, 2010. С. 94.

33. Осипов Г.С. Приобретение знаний интеллектуальными системами. Москва. 1997.

34. Аулін В.В., Замота О.М., Замота Т.М. Підвищення рентабельності транспортного процесу в реальних умовах експлуатації. *Логістика промислових регіонів: 2011*: матеріали третьої Міжн. наук.практ. конф., 6-9 квітня 2011 р. Донецьк: ЛАНДОН XXI, 2011. С. 323-326.

35. Аулін В.В., Віхрова Л.Г., Бісюк В.А. Автоматизація технологічного процесу індукційного наплавлення композиційних покриттів на деталі сільськогосподарської техніки. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. №6. 2006. С. 218-220.

36. Аулін В.В. Фізичні основи явищ самоорганізації і облітерації мастильних середовищ в зазорах трибосполучень деталей. *Проблеми трибології (Problems of tribology)*. 2009. №4, С.103-111.

37. Аулін В.В. Фізичні основи еволюції станів трибосистем та процесів самоорганізації їх елементів. *Ольвійський форум 2011" Секція "Трибологія, ресурсо та енергозбереження*: зб. матеріалів доп. учасн. міжнар. наук. практ. конф. Ялта, 2011. С.14-15.

38. Приобретение знаний / Пер. с яп. / Под ред. С. Осуги, Ю. Саэки. Москва: Мир, 1990.

39. Романов А.Н., Одинцов Б.Е. Советующие информационные системы в экономике. Москва: ЮНИТИДАНА, 2000.

40. Аулін В.В., Щербіна С.Ф., Голуб Д.В. Забезпечення належного рівня якості транспортного обслуговування пасажирів в сучасних умовах функціонування транспортних систем міст. Зб. матеріалів доп. учасн. XLVII наук. конф. Кіровоград:КНТУ, 2013. С. 25-27.

41. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Інформаційні аспекти діагностування агрегатів транспортних засобів. *Інтегровані інтелектуальні*

робототехнічні комплекси (ПРТК2015): зб. матеріалів доп. учасн. Восьмої міжнародної науковопрактичної конф. Київ: НАУ, 2015. С. 58-60.

42. Аулин В.В., Бичевой И.В., Лысенко С.В., Голуб Д.В. Метод получения диагностической информации о состоянии ЭС в период между техническими обслуживаниями для уточнения регламентов ТО / *Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: Эксплуатация и развитие автомобильного транспорта [Текст]: материалы X междунар. заочн. науч.техн. конф. 15 мая 2015 г. Пенза: ПГУАС, 2015. С. 21-27.*

43. Финн В.К. Правдоподобные рассуждения в интеллектуальных системах типа ДСМ . *Итоги науки и техники. Сер. Информатика. т.15. Интеллектуальные информационные системы.* 1991.

44. Финн В.К. Философские проблемы логики интеллектуальных систем . *Новости искусственного интеллекта.* 1999. №1.

45. Франселла Ф., Баннистер Д. Новый метод исследования личности: руководство по репертуарным личностным методикам / Пер. с англ. Москва, 1987.

46. Фуремс Е.М., Гниденко А.С. STEPCLASS система извлечения знаний и проведения экспертизы при решении диагностических задач . *Научно-техническая информация.* 1996. №9. Сер. 2.

47. Шапот М. Интеллектуальный анализ данных в системах поддержки принятия решений . *Открытие системы.* 1998. №1.

48. Шапот М., Ропупкина В. Интеллектуальный анализ данных и управление процессами. *Открытие системы.* 1998. № 4.

49. Шенк Р., Бирнбаум Л ., Мей Дж. К интерпретации семантики и прагматики . Новое в зарубежной лингвистике. *Компьютерная лингвистика.* 1989. Вып. 14.

50. Элти Дж., Кумбс М. Экспертные системы: концепции и примеры / Пер. с англ. Москва, 1987.

51. Язык и интеллект. Москва: Прогресс, 1996.

52. Bennet J. S. A knowledgebased system for acquiring the conceptual structure of a diagnostic expert system . *Journal of Automated Reasoning.* 1985. No. 1.

53. Boose J.H., Bradshaw J.H., Shema D.B. Transforming repertory grids to shellbased knowledge bases using AQUINAS, a knowledge acquisition workbench . *Proceedings of the AAAI 8 8 Integration of Knowledge Acquisition and Performance Systems Workshop.* St. Paul, 1988.

54. Codd E.F., Codd S.B., Salley C.T. Providing OLAP (OnLine Analytical Processing) to UserAnalysts. *An IT Mandate.* E. F.Codd & Associates, 1993.

55. Davis R. Interactive transfer of expertise . *In: RuleBased Expert Systems / Ed. by Buchanan B.G., Shortliffi E.H.* London: Addison Wesley, 1984.

56. De Marco T. Structured analysis and system specification. *Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall,* 1979.

57. Diderich J., Ruhman I., May M. KRITON: a knowledge acquisition tool for expert systems . *Int. Journal of ManMachine Studies.* 1987. Vol . 26. No.1.

58. Ericson K. A. Expert and exceptional performance: evidence of maximum adaptation to task constraints. *Annual Review of Psychology*. 1996. No.47.
59. Eshelman L. MOLE. Knowledge acquisition tool that buries certainty factors. *Int. Journal of ManMachine Studies*. 1987. Vol. 26. No.1.
60. Fransella F., Dalton P. Personal construct counseling in action. *London: Sage Publications*, 1994.
61. Gaines B.R., Shaw M.L.G. Knowledge engineering techniques. *Proceedings of AUTO FACT' 86*, Detroit, 1986.
62. Gane C., Sarson T. Structured system analysis. *Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall*, 1979.
63. Guarino N., Poli R. The role of ontology in the information technology. *International Journal of Human Computer Studies, Special issue on the ontology*. 1995. No.43 (5/6).
64. Jones A. The Object model: a conceptual toll for structuring software. *Operating Systems*. New York: SpringerVerlag, 1992.
65. Kaplan R.N., BerryRoghe G. Knowledgebased acquisition of causal relationships in text. *Knowledge Acquisition*. 1991. No.3.
66. Kelly G. A. Psychology of personal constructs. New York: Norton, 1955.
67. Kihlstrom J. The Cognitive unconscious. *Science*. 1987. Vol. 237.
68. Kintsch W. The representation of meaning in memory. New York, 1974.
69. Lewicki P., Hill., Czyzewska M. Nonconscious acquisition of information. *American Psychologist*. 1992.
70. Markus S. Taking backtracking with a grain of SALT. *Int. Journal of ManMachine Studies*. 1987. Vol. 26. No.4.
71. Muzen M.A., Fagan L.M., Combs P.M., Shortliffe E. N. Use of a domain model to interactive knowledgeediting toll. *Int. Journal of ManMachine Studies*. 1987. Vol.26. No.1.
72. Repertory Grid Technique and Personal Constructs. Edited by Nigel Beail. Groom Helm London & Sydney, 1993.
73. Shaw M. Abstraction techniques in modem programming languages. *IEEE Software*. 1984. Vol.1(4).
74. Shaw M.L., Woodward J.B. Validation of knowledge support system. *Proceedings of the 2nd Knowledge Acquisition for KnowledgeBased Workshop*, Banff, Canada, 1988.
75. Yourdon E. Modem Structured Analysis. PrenticeHall Int. Ed., 1989.
76. Чухланцев Е.С., Максимова В.В. Разработка автоматизированной системы управления складом. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления*. 2015. № 16. С. 98-105.
77. Поздняков А.А., Сердюк С.Н. Анализ методов получения аналитической информации в системе контроллинга. *Радиоэлектроника, информатика, управління*. 2004. № 1 (11). С. 81-84.
78. Рогатенюк Э.В., Тихонова А.С. Подходы к организации системы контроллинга кризисного предприятия. *Экономика строительства и природопользования*. 2016. №1. 93-97.

79. Рогатюк Е.В. Пріоритетні орієнтири фінансового контролінгу кризових підприємств. *Економічна безпека в умовах глобалізації світової економіки*: [колективна монографія у 2 т.]. 2014. Т.1. С. 425-437

80. Полищук Н.В. Логистический контролинг в системе управления предприятий высокотехнологичных отраслей промышленности. *Economics*. 2015. №6 (7), С. 11-18.

81. Блудова Н. А. Проблемы контролинга и оценки эффективности деятельности при дивизиональной структуре предприятия. *Известия Алтайского государственного университета*. 2002. № 2. С. 101-103.

82. Алексеев А. В. Роль системы контролинга в управлении устойчивым развитием предприятия. *Новые технологии*. 2008. № 5. С. 62-64.

83. Бойцев, А. В. Датчики в интеллектуальных системах автомобильной шины. *Технико-технологические проблемы сервиса*. 2015. №1 (31). С. 21-25.

84. Коваленко Н. И. Извлечение знаний для интеллектуальных транспортных систем. *Перспективы науки и образования*. 2014. № 5.(11). С. 45-52.

85. Цветков В.Я., Маркелов В.М. Пространственный ситуационный анализ. *Вестник МГТУ МИРЭА*. 2013. №1 (1). С. 103-116.

86. Савиных В.П. Использование методов дистанционного зондирования для управления транспортом. *Науки о Земле*. 2012. № 2. С. 58-61.

87. Luo J. et al. Intelligent modelbased diagnostics for vehicle health management. AeroSense 2003 *International Society for Optics and Photonics*. 2003. С. 13-26.

88. Артюшенко В.М., ред. Информационные технологии и управляющие системы. Москва: Научный консультант. 2015. 184 с.

89. Юсупова Н.И., Сметанина О.Н., Исхакова Л.М.. Модели и методы обработки информации при управлении связями с alumni-ассоциацией. *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2012. № 8(1). С. 17-21.

90. Ручкин В., Фулин В. Универсальный искусственный интеллект и экспертные системы. Санкт-Петербург. 2009 г. 240 с.

91. Сурмин Ю.П., Туленков Н.В. Методология и методы социологических исследований: учеб. пособие. Киев: МАУП, 2000. 304с.

92. Кулаичев А.П. Методы и средства комплексного анализа данных: 4е изд., перераб. и доп. Москва, 2006. 512 с.

93. Кобяков, А. А., Лапшин, К. В., Новикова, Е. Л., Ямщиков, Ю. А. Модель навигации робототехнического комплекса в многокомпонентной информационной среде. *Информационно управляющие системы*. 2014. №5 (72). 58-63.

94. Павловский В. Е. Задачи динамики и управления мобильными роботами. Искусственный интеллект – проблемы и перспективы. *Политехнические чтения*. 2006. № 7. С. 155-174.

95. Платонов А. К. Проблемы и перспективы робототехники. Робототехника, прогноз, программирование. Москва: ЛКИ. 2008. С. 136.

96. Каляев И. А., Гайдук А. Р., Капустян С. Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. Москва: Физматлит, 2009. 280 с.

97. Мартыненко Ю. Г. Проблемы управления и динамики мобильных роботов. *Новости искусственного интеллекта*. 2002. № 4. С. 18-23.

98. Рыбина Г. В., Паронджанов С. С. Моделирование процессов взаимодействия интеллектуальных агентов в многоагентных системах. *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2008. № 3. С. 3-15.

99. Ющенко А. С. Диалоговое управление роботами с использованием нечетких моделей. *Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте*: сб. тр. 5-й Междунар. науч.практ. конф. 28-30 мая 2009 г. Коломна. 2009. Т. 1. С. 97-108.

100. Аулін В.В., Кулешков Ю.В., Павлюк-Мороз В.А., Соловський В.С. Загальна методика досліджень в технічних та природничих науках . *Проблеми трибології (Problems of tribology)*. 2002. №1. С.186-196.

101. Статистичні методи обробки та аналізу економічних даних ISBN – 9667531325: навч. посіб. / Аулін В.В. та ін. Кіровоград, 2003.

102. Аулін В.В., Дігтяр Б.С., Цвігун Н.М. Використання математичного моделювання для оцінки ефективності функціонування фінансового механізму *Наукові записки. Сер. Математичні науки*. 2006. Вип. 65. С.8-17.

103. Аулін В.В., Жулай О.Ю., Бобрицький В.М. Теоретичні основи діагностичного моніторингу і системи керування технічним станом мобільної сільськогосподарської техніки . *Праці Таврійської держ. агротехн. академії*. 2006. Вип.39. С.43-54.

104. Аулін В.В., Голуб Д.В., Жулай О.Ю., Панчул С.О. Практична реалізація рівнів отримання інформації в системі діагностичного моніторингу технічного стану двигунів транспортних засобів у с/г виробництві. *Актуальні проблеми та наукові звершення молоді на початку третього тисячоліття*: матеріали I Всеукр. наук. конф. 12-14 листопада 2008р. Луганськ: Елтон2, 2008. С. 254 - 257.

105. Аулін В.В., Лівіцький О.М. Інформаційне забезпечення в системі технічного сервісу, діагностичного моніторингу та охорони праці в с/г виробництві. *Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин*. 2009р. Вип.39. С. 287-291.

106. Аулін В.В., Основні синергетичні компоненти прояву різних форм самоорганізації в триботехнічних системах *Ольвійський форум 2012" Секція "Трибологія, енерго та ресурсозбереження*: зб. матеріалів доп. учасн. міжнар. наук. практ. конф. Ялта, 2012, т. 12. С.60-62.

107. Аулін В.В., Шевченко І.А. Новий підхід до організації та технології вантажних комплексних перевезень. Зб. матеріалів доп. учасн XLV наук. конф. 19 травня 2011 року. Кіровоград: КНТУ, 2011.С. 970-971.

108. Аулін В.В., Голуб Д.В. Формалізація співвідношень між попитом і пропозицією в проблемі підвищення якості на міські пасажирські перевезення в ринкових умовах. *Транспорт і логістика*: матеріали ІІІ Всеукр. наук.практ. конф. молодих учених та студентів, 26-27 вересня 2012 р. Донецьк: ДААТ, 2012. С. 189-192.

109. Аулін В.В., Динамічна адаптація спряжень деталей до умов експлуатації з реалізацією процесів самоорганізації. *Актуальні проблеми інж. механіки*: матеріали ІІ міжнар. наук. – техн. конф., 22-24 жовтня 2012р. Миколаїв: НУК, 2012. С. 73-74.

110. Аулін В.В., Голуб Д.В. Диференціальна та інтегральна оцінка рівня якості транспортного обслуговування пасажирів в ринкових умовах. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. Частина І*. 2012. №9(180). С. 225-232.

111. Аулін В.В., Стан самоорганізації середовища ґрунту та закономірності зносу робочих органів ґрунтообробних машин. *Проблеми трибології (Problems of tribology)*. 2013. №1. С.114-119.

112. Аулін В.В., Голуб Д.В. Вплив характеристик транспортного процесу на якість обслуговування пасажирів в сучасних умовах функціонування транспортних систем. *Проблеми розвитку транспортних систем і логістики*: матеріали ІV-ої Міжнар. наук.практ. конф., 14-16 травня 2013 р. 2013. С. 49-50.

113. Аулін В.В., Лисенко С.В. Комп'ютерні системи підтримки прийняття рішень по вибору технологій зміцнення робочих поверхонь деталей машин і обладнання. *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІІРТК2014): 2014*: матеріали сьомої Міжнар. наук.практ. конф. 19-20 травня 2014 р. Київ: НАУ, 2014. С. 280-282.

114. Аулін В.В., Фізичні основи процесів і станів самоорганізації в триботехнічних системах: монографія Фізичні основи процесів і станів самоорганізації в триботехнічних системах: монографія. Кіровоград: Лисенко В.Ф., 2014. 370 с.

115. Аулін В.В., Методологія розв'язання проблеми підвищення зносостійкості деталей і робочих органів сільськогосподарської техніки. *Вісник ЖНАЕУ*. 2014. Вип. 2 (45), т.4, ч.ІІ. С. 80-91.

116. Аулін В.В., Голуб Д.В., Плохов І.О. Учет объема пассажиропотока при корректировании сроков технического обслуживания подвижного состава городского транспорта. *Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: Эксплуатация и развитие автомобильного транспорта [Текст]*: материалы X междунар. заочн. науч.техн. конф. 15 мая 2015 г., Пенза: ПГУАС, 2015. С. 27-38.

117. Аулин В.В., Гринькив А.В., Лысенко С.В. Связь информационной энтропии с показателями надежности агрегатов и транспортных средств. *Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: Эксплуатация и развитие автомобильного транспорта [Текст]*: материалы X междунар. заочн. науч.техн. конф. 15 мая 2015 г., Пенза: ПГУАС, 2015. С. 39-44.

118. Аулін В.В., Зеленський О.В., Голуб Д.В. Використання інформаційних технологій при розв'язанні проблеми удосконалення організації пасажирських перевезень автомобільним транспортом. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали VIII міжн. наук.практ. конф., 19-21 жовтня 2015 р. Вінниця: ВНТУ, 2015. С. 22-24.

119. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Замота О.М. Методологія вибору та управління ефективністю використання техніки у сільськогосподарському виробництві. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2016. Вип. 29. С.2-12.

120. Аулін В.В., Гриньків А. Использование теоретикоинформационного подхода для анализа технического состояния топливной системы автомобилей . *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2016. Vol.18. No.2. P. 63-68.

121. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Виявлення основних проблем сфери нормативного регулювання напрямків забезпечення та підвищення надійності автомобільних транспортних систем в Україні. *Підвищення надійності машин і обладнання*: зб. матеріалів доп. учасн. XI Всеукраїнської науково-практичної конф. Кропивницький: ЦНТУ, 2017. С. 24-26.

122. Аулін В.В., Біліченко В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О. Дослідження шляхів і сукупності факторів забезпечення належного рівня ефективності і надійності транспортних систем. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали X міжнародної науково-практичної конф., 23-25 жовтня 2017 р. Вінниця: ВНТУ, 2017. С.21-24.

123. Аулін В.В., Біліченко В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О. Методологія підходів до дослідження шляхів і сукупності факторів забезпечення належного рівня ефективності і надійності транспортних систем. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2017. №2. С. 4-14.

124. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологія визначення основних експлуатаційних властивостей та якості функціонування транспортних і технічних систем . *Вісник інж. академії України*. 2017. №2. С.110-115.

125. Аулін В.В., Гриньків А.В. Прогнозування технічного стану систем і агрегатів засобів транспорту на основі класифікації діагностичних часових рядів з пам'яттю. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки*: матеріали XI Міжнародної науково-практичної конф. Кропивницький: ЦНТУ, 2017. С. 4-6.

126. Аулін В.В., Гриньків А.В. Реалізація удосконалення стратегії технічної експлуатації засобів транспорту та її техніко-економічна оцінка. *Актуальні задачі сучасних технологій*: зб. матеріалів доп. учасн. Міжнародної науково-технічної конф., 16–17 листопада 2017 р. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. С.12-13.

127. Аулін В.В., Голуб Д.В. Методи оцінки і аналізу надійності автомобільних транспортних систем *Актуальні задачі сучасних технологій*: зб. матеріалів доп. учасн. Міжнародної науково-технічної конф., 16–17 листопада 2017 р. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. С.14-15.

128. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічне обґрунтування дослідження та розв'язання проблеми надійності функціонування транспортних систем. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2017. №10. С. 29-36.

129. Аулін В.В., Голуб Д.В. Забезпечення та підвищення надійності транспортних систем і процесів перевезень багатофункціональною роботою їх учасників *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасн. V Міжнародної науково-технічної конф. Київ: НУБіП України, 2018. С. 107-110.

130. Аулін В.В., Замота О.Н., Ливицький А.Н. Влияние системы технического обслуживания и ремонта на себестоимость грузовых перевозок в сельскохозяйственном производстве. *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасн. V Міжнародної науково-технічної конф. Київ: НУБіП України, 2018. С. 112-115.

131. Аулін В.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Підвищення ефективності транспортних систем в АПК на основі логістичного підходу. *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасн. V Міжнародної науково-технічної конф. Київ: НУБіП України, 2018С. 135-138.

132. Аулін В.В., Голуб Д. В., Біліченко В. В. Формування критеріїв ефективності функціонування транспортних систем. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали VI-ої міжнародної науково-практичної інтернет-конф., 12-13 квітня 2018 року. Вінниця: ВНТУ, 2018. С.11-13.

133. Аулин В.В., Замота Т.Н., Замота О.Н., Гриньков А.В. Техникоэкономическое обоснование преимущества интеллектуальной стратегии технического обслуживания и ремонта легкового автомобиля. *Вісник інж. академії України*. 2017. №4. С.50-56.

134. Аулін В.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Оптимізація і управління ресурсами в транспортнологістичній системі АПК. *Наукові нотатки*. 2018. №62. С.8-11.

135. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Критерії реалізації процесів забезпечення та підвищення надійності і ефективності функціонування транспортних систем. *Наукові нотатки*. 2018. №62. С.12-16.

136. Аулін В.В., Гриньків А.В., Голуб Д.В., Агапоненко М.І. Розробка критерію вдосконалення системи технічної експлуатації засобів транспорту з врахуванням необхідної діагностичної інформації. *Наукові нотатки*. 2018. №62. С.17-20.

137. Аулін В.В., Великодний Д.О. Методи формування системи транспортнотехнологічного забезпечення в АПК. *Транспорт і логістика: проблеми та рішення*: зб. наук. праць за матеріалами VIII Міжнародної

науковопрактичної конф., 23-25 травня 2018р. Одеса: КУПРІСНКО СВ, 2018. С. 15-17.

138. Аулін В.В., Аналіз напрямів підвищення надійності автомобільних транспортних систем. *Підвищення надійності машин і обладнання*: зб. матеріалів доп. учасн. XII Всеукраїнської науково-практичної конф. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. С. 87-91.

139. Аулін В.В., Голуб Д.В. Можливі методи вирішення проблеми підвищення надійності та ефективності функціонування транспортних систем, підсистем та їх елементів. *Підвищення надійності машин і обладнання*: зб. матеріалів доп. учасн. XII Всеукраїнської науково-практичної конф. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. С. 161-164.

140. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Удосконалення системи транспортного обслуговування підприємств агропромислового виробництва. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2017. вип. 47, ч.ІІ. С. 3-10.

141. Viktor Aulin, Denis Velykodnyi, Viktoriya Dyachenko Concept of development and formation of transportlogistic systems in the agroindustrial complex. *Modern Management: Logistics and Education. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole*, 2018. P.165-169.

142. Аулін В.В., Замота Т. М., Гриньків А. В., Замота О. М., Чернай А. Е. Преимущества интеллектуальной стратегии технической эксплуатации с точки зрения экономической эффективности. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2018. Вип. 192. С. 29-40.

143. Аулін В.В., Голуб Д.В., Білченко В.В. Методологічний підхід до визначення рівня якості функціонування транспортних систем. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2018. №1(7). С. 4-9.

144. Аулін В.В., Голуб Д.В. Методичні аспекти кількісної, якісної та часової оцінки параметрів надійності функціонування транспортних систем. *Вісник Житомирського державного технологічного університету Сер. Технічні науки*. 2018. № 2 (82). С.3-10.

145. Аулін В.В., Голуб Д.В., Луценко А.С. Математичний апарат оцінки надійності багатофункціональних транспортних систем. *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту*: Зб. наук. матеріалів міжнародної науково-практичної інтернет-конф. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. С.33-41.

146. Аулін В.В., Панков А.А. Автоматизация и информатизация транспортных средств на основе распределенной системы управления с интеллектуальными мехатронными модулями. *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту*: Зб. наук. матеріалів міжнародної науково-практичної інтернет-конф. Кропивницький: ЦНТУ. 2018. С.97-100.

147. Аулін В.В., Головатий А.О. Вплив виробничотехнічної бази автотранспортного підприємства на ефективність його роботи та використання парку машин *Інноваційні технології розвитку та ефективності*

функціонування автомобільного транспорту: Зб. наук. матеріалів міжнародної науково-практичної інтернет-конф. Кропивницький: ЦНТУ. 2018. С.201-206.

148. Аулін В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О. Підвищення надійності процесу перевезень в транспортних системах різними способами структурного резервування. *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасн. VI Міжнародної науковотехнічної конф. Київ: НУБіП, 2019. С. 68-71.

149. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Замота О.М. Вплив надійності сільськогосподарської та транспортної техніки на оптимальний термін її служби. *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасн. VI Міжнародної науковотехнічної конф. Київ: НУБіП, 2019. С. 83-86.

150. Аулін В.В., Гриньків А.В. Вирішення проблеми підвищення експлуатаційної надійності з використання елементів інформаційних технологій. *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасн. VI Міжнародної науковотехнічної конф. Київ: НУБіП, 2019. С. 91-94.

151. Аулін В.В., Лисенко С.В., Гриньків А.В., Чернай А.Е., Лукашук А.П. Системноспрямований підхід до розробки технологій безрозбірного відновлення спряжень деталей. *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасн. VI Міжнародної науковотехнічної конф. Київ: НУБіП, 2019. С. 94-96.

152. Аулін В.В., Панков А.О., Замота Т.М. Аналіз критеріїв ефективності роботи засобів механізації на основі розмірностей фізичних величин. *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасн. VI Міжнародної науковотехнічної конф. Київ: НУБіП, 2019. С. 186-189.

153. Аулін В.В., Великодний Д.О., Голуб Д.В., Дьченко В.О. Підвищення ефективності управління логістичним ланцюгом постачання в транспортній системі. *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасн. VI Міжнародної науковотехнічної конф. Київ: НУБіП, 2019. – С. 195-198.

154. Аулін В.В., Великодний Д.О., Дяченко В.О. Моделювання ланцюга постачання в транспортнологістичній системі. *Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання*: зб. матеріалів доп. учасн. Третьої Всеукраїнської науково-теоретичної конф. Дрогобич.: Посвіт, 2019. С.68-69.

155. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Голуб Д.В. Синергетика підвищення надійності машин використанням моделей марківських процесів. *Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу с/х машин і знарядь*: зб. матеріалів доп. учасн. V Всеукраїнської науково-практичної конф. Житомир: Житомирський агротехнічний коледж, 2019. С. 242-245.

156. Аулін В.В., Гриньків А.В., Ляшук О.Л., Великодний Д.О. Принципові основи організації та вдосконалення системи технічного сервісу транспортних машин. *Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу с/х машин і знарядь*: зб. матеріалів доп. учасн. V Всеукраїнської науково-практичної конф. Житомир: Житомирський агротехнічний коледж, 2019. С. 245-248.

157. Аулін В.В., Панков А.О, Гриньків А.В., Голуб Д.В., Щеглов А.В. Розробка інтелектуального мехатронного модуля для системи управління дозуванням. *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК2019)*: зб. матеріалів доп. учасн. Дванадцятій міжнародної науково-практичної конф. Київ: НАУ, 2019. С.173-175.

158. Аулін В.В., Панков А.О, Щеглов А.В. Дослідження пневмоструминних висівних апаратів дискретної дії для швидкісної сівби в інформаційній системі землеробства. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Сер. Агроінженері дослідження*. 2018. № 22. С.31-40.

159. Viktor Aulin, Olexiy Pavlenko, Denys Velikodnyy, Oleksandr Kalinichenko2, Andriy Hrinkiv, Viktoriy Diychenko, Volodymyr Dzyura Methodological approach to estimation of efficiency of the facing of the stock complex of transport and logistic centers in Ukraine / ICCPT 2019: *Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference*, May 28-29, 2019, Ternopil, Ukraine. P.120-134.

160. Аулін В.В., Лисенко С.В., Жилова І.В., Вербицький О.В. Синергетичне підвищення надійності трибоспряджень деталей систем і агрегатів транспортних машин. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability*: матеріали 1-ої Міжнародної науково-практичної конф., 17-19 квітня 2019 р. Кропивницький: ЦНТУ, 2019. С.7-8.

161. Аулін В.В., Великодний Д.О. Моделювання ланцюга постачання в транспортнологістичній системі. *Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання*: матеріали доп. учасн 3-ої Всеукр. наук.теорет. конф., 28 – 30 березня 2019 р. Дрогобич.: Посвіт, 2019. С.68-69.

162. Аулін В.В., Голуб Д.В. Забезпечення ефективності функціонування транспортних систем шляхом підвищення надійності структурнофункціональних резервних схем процесу доставки. *Наука – виробництву 2019*: зб. матеріалів доп. учасн. І наукової конф. Кропивницький: ЦНТУ, 2019. С. 17-20.

163. Аулін В.В., Степанов О.О., Кудря Д.Ю., Дібрівний В.С., Голуб Д.В. Оцінка надійності автомобільних транспортних систем з використанням кількісних параметрів. *День науки – 2019, приурочений до 90річчя ЦНТУ 18 квітня 2019 року*: зб. матеріалів доп. учасн. ІІІ наукової конф. Кропивницький: ЦНТУ, 2019. С. 53-55.

164. Аулін В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Розв'язання проблеми надійності технологічних процесів вантажних перевезень підприємствами агропромислового виробництва. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2019. Вип. 1(32). Кропивницький: ЦНТУ. С.36-45.

165. Аулін В.В., Великодний Д. О., Тирса Я. В., Кабак В. Д. Оцінка ефективності функціонування міського пасажирського транспорту з урахуванням вибору маршруту пасажиром. *Проблеми і перспективи розвитку*

автомобільного транспорту: матеріали VIII-ої міжн. наук.практичної інтернет-конф., 14-15 квітня 2020 р. Вінниця: ВНТУ, 2020. С.15-16

166. Аулін В.В., Голуб Д. В., Біліченко В. В., Замуренко А. С. Принципи самоорганізації автомобільних транспортних систем. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали VIII-ої міжн. наук.практичної інтернет-конф., 14-15 квітня 2020 р. Вінниця: ВНТУ, 2020. С.17-19.

167. Аулін В.В., Гриньків А.В., Головатий А.О. Системна концепція аналізу автотранспортної техніки та зміни її технічного стану підчас експлуатації. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали VIII-ої міжн. наук.практичної інтернет-конф., 14-15 квітня 2020 р. Вінниця: ВНТУ, 2020. С.20-22.

168. Аулін В.В., Голуб Д., Замуренко А. Підвищення ефективності транспортного процесу формуванням інформаційних потоків в системі перевезень вантажів. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем*: матеріали II Міжнародної науково-технічної інтернет-конф. 25-27 березня 2020 р. Рівне: НУВГП, 2020. С. 41-43.

169. Аулін В.В., Гриньків А., Головатий А. Рівні завдань та структура функціонування системи технічного сервісу транспортних машин. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем*: матеріали II Міжнародної науково-технічної інтернет-конф., 25-27 березня 2020 р. Рівне : НУВГП, 2020. С. 123-125.

170. Аулін В.В., Голуб Д.В., Біліченко В.В., Замуренко А.С. Формування показників оцінки ефективності транспортного процесу перевезень. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2020. №1(11). С.5-10.

171. Аулін В.В., Лисенко С.В., Гриньків А.В. Модель надійності деталей транспортних машин за процесами реалізації триботехнологій їх припрацювання і відновлення. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2019. Вип. 2(33). С.50-64.

172. Аулін В.В., Замота Т.Н., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Крупица О.В., Панайотов К.К. Обоснование использования современных подходов для усовершенствования диагностирования систем и агрегатов автомобиля. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2019. Вип. 2(33). С.65-75.

173. Аулін В.В., Гриньків А.В. Теоретичне обґрунтування якісного і кількісного приросту надійності електронних систем транспортних машин. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability*: матеріали Міжнародної науково-практичної конф., 15-17 квітня 2020 р. Кропивницький: ЦНТУ, 2020. С.129-131.

174. Аулін В.В., Гриньків А.В., Кіберфізичний підхід в дослідження стану технічних систем. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability*: матеріали Міжнародної науково-практичної конф., 15-17 квітня 2020 р. Кропивницький: ЦНТУ, 2020. С.168-169.

175. Аулін В.В., Гриньків А.В., Голуб Д.В., Лисенко С.В., Головатий А.О. Визначення раціональної схеми доставки вантажних відправлень на основі експериментальних досліджень. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability*: матеріали Міжнародної науково-практичної конф., 15-17 квітня 2020 р. Кропивницький: ЦНТУ, 2020. С.197-204.

176. Аулін В.В., Гриньків А.В., Головатий А.О. Інтелектуальні транспортні системи як результат впровадження інноваційних ефективних технологій. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability*: матеріали Міжнародної науково-практичної конф., 15-17 квітня 2020 р. Кропивницький: ЦНТУ, 2020. С.207.

177. Аулін В.В., Голуб Д.В., Дібрівний В.С., Талалаєв О.М., Шерстюков В.В., Ніколенко Б.М. Інформаційна модель забезпечення надійності та ефективності транспортних процесів пасажирських перевезень. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability*: матеріали Міжнародної науково-практичної конф., 15-17 квітня 2020 р. Кропивницький: ЦНТУ, 2020. С.230-232.

Список використаних джерел до розділу 3

1. Темкин И. О., Клебанов Д. А. Интеллектуальные системы управления горнотранспортными комплексами: современное состояние, задачи и механизмы решения. *Горный информационноаналитический бюллетень (научнотехнический журнал)*. 2014. № S1. С. 257-266.

2. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. Санкт-Петербург: Питер, 2000.

3. Представление и использование знаний / пер. с яп. / под ред. Х. Уэно, М. Исидзука. Москва: Мир, 1989.

4. Ивашкин Ю.А. Агентные технологии и мультиагентное моделирование систем. Москва: МФТИ, 2013. 268 с.

5. Фахми Ш. С. Концепция проектирования интеллектуальных транспортных видеосистем на основе технологии "Система на кристалле". *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова*. 2013. № 2 (18). С. 79-88.

6. Сурмин Ю.П., Туленков Н.В. Методология и методы социологических исследований: учеб. пособие. Киев, 2000. 304с

7. Галанин М. П. Методы численного анализа математических моделей / М. П. Галанин, Е. Б. Савенков. Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. 591 с.

8. Зубарев Ю. Б. Видеоинформационные технологии систем связи: моногр. / Ю. Б. Зубарев, Ю. С. Сагдулаев, Т. Ю. Сагдулаев. Москва: Спутник, 2011. 296 с.

9. Бахтадзе Н. Н., Боровских Л. П. Новое в автоматическом управлении производством. *Проблемы управления*. 2014. № 5. С. 79-83.

10. Цуканов М.А., Боева Л.М. Построение контактного графика сложноструктурированного дискретнонепрерывного производства с использованием иммунного алгоритма. *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2012. № 8 (4). С. 66-70.

11. Дьячко А.Г. Математическое и имитационное моделирование производственных систем: научное издание. Москва.:МИСИС, 2007. 540 с.

12. Leung C.W., Wong T.N.. Integrated process planning and scheduling by an agentbased ant colony optimization. *Computers & Industrial Engineering*. 2010. № 59. 166-180.

13. Григорьев О.А., Филипченко С.А., Хахин И.С., Яшин А.И. Инновационное мышление в подходах к оценке и анализу транспортного комплекса. *Интеллектуальные технологии на транспорте*. 2015. № 1. С. 5-10.

14. Розенберг И.Н. Ситуационное управление в сфере транспорта. *Образовательные ресурсы и технологии*. 2015. № 2 (10). С. 42-48.

15. Лёвин Б. А. Информационное моделирование при управлении транспортом. *Перспективы науки и образования*. 2017. № 3 (27). С. 50-54.

16. Титов Е.К. Многоаспектность информационной ситуации. *ИТНОУ: информационные технологии в науке, образовании и управлении*. 2019. № 1 (11). С. 101-106.

17. Таунсенд К., ФохтД. Проектирование и программная реализация экспертных систем на персональных ЭВМ / Пер. с англ. Москва: Финансы и статистика, 1990.

18. Цейтин Г. С. Программирование на ассоциативных сетях // ЭВМ в проектировании и производстве. *Л.: Машиностроение*. 1985. Вып. 2.

19. ЭлтиДж., Кумбс М. Экспертные системы: концепции и примеры / пер. с англ. Москва: Финансы и статистика, 1987.

20. Durkin J. Expert System: Catalog of applications. *ICS, USA*, 1998.

21. Безгубова Ю. О. Мультиагентное управление распределенными информационными потоками. *Образовательные ресурсы и технологии*. 2015. № 1 (9). С. 113-119.

22. Швецов А. Н., Дианов С. В. Мультиагентная информационная технология решения задач управления и принятия решений в организационных системах. *Вестник Череповецкого государственного университета*. 2015. № 2 (63). С. 49-54.

23. Швецов А. Н., Дианов С. В. Мультиагентная информационная технология решения задач управления и принятия решений в организационных системах. *Вестник Череповецкого государственного университета*. 2015. № 2 (63). С. 49-54.

24. Аксенов К. А., Шолина И. И., Сафрыгина Е. М. Разработка и применение объектноориентированной системы моделирования и принятия решений для мультиагентных процессов преобразования ресурсов. *Научнотехнические ведомости СанктПетербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление*. 2009. № 3 (80). С. 87-97.

25. Массель Л. В., Лемперт А. А., Массель А. Г., Фартышев Д. А. Методические принципы построения и архитектура многоагентной интеллектуальной транспортнологистической системы. *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2011. № 12 (59). С. 15-19.

26. Массель Л.В., Копайгородский А.Н., Аршинский В.Л. Построение интеллектуальных систем для исследований энергетики на основе алгебраических сетей и онтологий: подход и реализация. *Вычислительные технологии*. 2008. Т.13. № 1. С. 50-58.

27. Казаков А.Л. , Лемперт А.А. , Бухаров Д.С. Об одном численном методе решения некоторых задач оптимизации, возникающих в транспортной логистике. *Вестник ИрГТУ*. 2011. №6 (53). С. 6-12.

28. Цветков В. Я. Когнитивная логика. *ИТНОУ: информационные технологии в науке, образовании и управлении*. 2019. № 1 (11). С. 106-110.

29. Логический подход к искусственному интеллекту: от классической логики к логическому программированию / пер. с фр. А. Тейз, П. Грибомон, Ж. Луи и др. Москва: Мир, 1990.

30. Нильсон Н. Дж. Искусственный интеллект. Методы поиска решений. Москва: Мир, 1973.

31. Осипов Г. С. Приобретение знаний интеллектуальными системами. Москва: Наука, 1997.

32. Осуга С. Обработка знаний / пер. с яп. Москва: Мир, 1989.

33. Поспелов Д. А. Моделирование рассуждений. Опыт анализа мыслительных актов. Москва: Радио и связь, 1989.

34. Построение экспертных систем / пер. с англ. / под ред. Ф. ХейсРота, Д. Уотермена, Д. Лената. Москва: Мир, 1987.

35. Аулін В.В., Солових А.Є. Методологічні аспекти застосування математичних методів і моделей в економіці. Наукові праці КДТУ. Екон. науки. – Вип.8. – Кіровоград: КДТУ, 2000. – С.147150.

36. Аулін В.В., Івашук В.О., Каськов В.С. Моделювання системи рейтингового управління. *Теорія і практика перебудови економіки*, 2000. С.107-109.

37. Аулін В.В., Івашук В.О., Тендюк А.В. Моделювання процесів регіональної економіки. *Теорія і практика перебудови економіки*, 2000. С. 109-111.

38. Аулін В.В., Солових А.Є. Проблеми регіональної інвестиційної стратегії та моделювання процесів її формування. *Теорія і практика перебудови економіки*, 2000. С.111-113.

39. Аулін В.В., Івашук В.О., Тендюк А.В. Використання економікоматематичного моделювання та інформаційних технологій для забезпечення ефективного управління регіональної економіки: наук.метод. зб.. Одеса, 2001. Вип.7. С.236-239.

40. Аулін В.В., Кулешков Ю.В., ПавлюкМороз В.А., Соловський В.С. Загальна методика досліджень в технічних та природничих науках. *Проблеми трибології (Problems of tribology)*. 2002. №1 С.186-196.

41. Статистичні методи обробки та аналізу економічних даних ISBN – 9667531325: навч. посібник / Аулін В.В. та ін. Кіровоград, 2003.

42. Аулін В.В., Жулай О.Ю., Крисенко А.Ф., Лисенко С.В. Рівні отримання інформації про технічний стан двигунів в системі діагностичного моніторингу. *Зб. наук. праць Луганського нац. аграр. університету. Сер. Технічні науки*. 2006. №.65(88). С.21-28.

43. Аулін В.В., Дігтяр Б.С., Цвігун Н.М. Використання математичного моделювання для оцінки ефективності функціонування фінансового механізму. *Наукові записки. Сер. Математичні науки*. 2006. Вип. 65. С.8-17.

44. Аулін В.В., Жулай О.Ю., Лівіцький О.М. Транспортні засоби в агропромисловому комплексі та система діагностичного моніторингу їх технічного стану. *Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин*. 2007р. Виш.37. С. 146-154.

45. Аулін В.В., Голуб Д.В. Аналіз системи перевезення пасажирів у містах, основні тенденції її розвитку і шляхи удосконалення. *Вісник НТУ*. 2007. 2т., ч. 2. С. 279-284.

46. Аулін В.В., Голуб Д.В. Основні напрямки розвитку пасажирського транспорту в м. Кіровограді. *Підвищення надійності машин і обладнання: матеріали Всеукр. конф.*, 19 квітня 2007 р. Кіровоград: КНТУ. С. 36-38.

47. Аулін В.В., Голуб Д.В. Алгоритм визначення основних показників процесу перевезень міського транспорту з переважанням приватного транспорту. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. Частина 2*. 2007. №7(125). С. 71-75.

48. Аулін В.В., Голуб Д.В., Жулай О.Ю., Панчул С.О. Практична реалізація рівнів отримання інформації в системі діагностичного моніторингу технічного стану двигунів транспортних засобів у с/г виробництві. *Актуальні проблеми та наукові звершення молоді на початку третього тисячоліття: матеріали I Всеукр. наук. конф.*, 12- 14 листопада 2008р. Луганськ: Елтон2, 2008. С. 254 - 257.

49. Аулін В.В., Чайковський О.Б., Голуб Д.В. Поетапний метод математичного моделювання процесів міських перевезень. *Підвищення надійності машин і обладнання: мат. доповідей учасн. Всеукр. студ. наук.практ. конф.*, 10 квітня 2008 р. Кіровоград: КНТУ, 2008. С. 119-122.

50. Аулін В.В., Голуб Д.В. Розробка математичної моделі пасажиропотоку з мінімізацією сумарного пробігу порожніх місць ЗМПТ. *Підвищення надійності машин і обладнання: мат. доповідей учасн. III Всеукр. студ. наук.практ. конф.*, 15 квітня 2009 року. Кіровоград:КНТУ, 2009. С. 136-139.

51. Аулін В.В., Лисенко С.В., Онолов М.В., Панчул С.О., Слонь В.В. Автоматичне керування процесом зношування деталей ДВЗ реалізацією процесу самоорганізації. *Молодежь и с/х техника в XXI веке: материалы V-го междунар. форума молодежи*. Харьков: ХНТУСХ. 2009. С. 6-7.

52. Аулін В.В. Самоорганізація на основі нерівноважених процесів в трибо системах. *Ольвійський форум2009: Стратегії України в*

геополітичному просторі: зб. матеріалів доп. учасн. міжнар. наук.-практ. конф. Миколаїв: ЧДУ, 2009. С. 61-62.

53. Аулін В.В. Фізичні основи явищ самоорганізації і облітерації мастильних середовищ в зазорах трибосполучень деталей. *Проблеми трибології (Problems of tribology)*. 2009. №4. С.103-111.

54. Аулін В.В., Лівіцький О.М. Інформаційне забезпечення в системі технічного сервісу, діагностичного моніторингу та охорони праці в с/г виробництві. *Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин*. 2009р. Вип.39. С. 287-291.

55. Аулін В.В., Загальні закономірності еволюції та самоорганізації в трибо системах. *Сучасні проблеми трибології*: матеріали доповідей Міжнар. наук.техн. конф., 19-21 травня 2010 р. Київ: ІВЦ АЛКОН НАН України, 2010. С. 94.

56. Аулін В.В., Замота О.М. Вплив системи технічного обслуговування і ремонту автомобілів на собівартість вантажних перевезень. *Економічні науки*. 2010р. Вип. 17. С.308-315.

57. Аулін В.В., Голуб Д.В. Поліпшення управління процесами міських пасажирських перевезень на базі впровадження логістичної системи головного маршруту на прикладі м. Кіровограда / Логістика промислових регіонів: Матеріали третьої Міжн. наук.практ. конф., (ДонецькСвятогірськ, 69 квітня 2011 р.): Зб. наук. праць, МОНМСУ, ДААТ, ПДТУ [та ін.]. – Донецьк: ЛАНДОН XXI, 2011. – С. 1923.

58. Аулін В.В., Замота О.М., Замота Т.М. Підвищення рентабельності транспортного процесу в реальних умовах експлуатації. *Логістика промислових регіонів*: матеріали третьої Міжн. наук.практ. конф., 6-9 квітня 2011 р. Донецьк: ЛАНДОН XXI, 2011. С. 323-326.

59. Аулін В.В. Фізичні основи еволюції станів трибосистем та процесів самоорганізації їх елементів. *Ольвійський форум 2011" Секція "Трибологія, ресурсо та енергозбереження*: зб. матеріалів міжнар. наук. практ. конф., 8-12 червня 2011, Ялта. С.14-15.

60. Аулін В.В., Шевченко І.А. Новий підхід до організації та технології вантажних комплексних перевезень: матеріали доповідей студентів і магістрантів на XLV наук. конф. 19 травня 2011 року. Кіровоград: КНТУ, 2011. С. 970-971.

61. Аулін В.В., Голуб Д.В. Формалізація співвідношень між попитом і пропозицією в проблемі підвищення якості на міські пасажирські перевезення в ринкових умовах. *Транспорт і логістика*: матеріали III Всеукр. наук.практ. конф., 26-27 вересня 2012 р. Донецьк: ДААТ, 2012. С. 189-192.

62. Аулін В.В., Голуб Д.В. Диференціальна та інтегральна оцінка рівня якості транспортного обслуговування пасажирів в ринкових умовах. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. Частина I*. 2012. №9(180). С. 225-232.

63. Аулін В.В., Щербіна С.Ф., Голуб Д.В. Забезпечення належного рівня якості транспортного обслуговування пасажирів в сучасних умовах функціонування транспортних систем міст: матеріали доповідей студентів і

магістрантів на XLVII наук. конф. 18 квітня 2013 року. Кіровоград:КНТУ, 2013. С. 25-27.

64. Аулін В.В., Голуб Д.В. Вплив характеристик транспортного процесу на якість обслуговування пасажирів в сучасних умовах функціонування транспортних систем. *Проблеми розвитку транспортних систем і логістики*: матеріали IV-ої Міжнар. наук.практ. конф., 14-16 травня 2013 року. Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2013. С. 49-50.

65. Аулін В.В., Лисенко С.В. Комп'ютерні системи підтримки прийняття рішень по вибору технологій зміцнення робочих поверхонь деталей машин і обладнання. *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК2014)*: матеріали сьомої Міжнар. наук.практ. конф., 19-20 травня 2014 р. Київ : НАУ, 2014. С. 280-282.

66. Аулін В.В., Фізичні основи процесів і станів самоорганізації в триботехнічних системах: монографія. Кіровоград: Лисенко В.Ф., 2014. 370 с.

67. Аулін В.В., Голуб Д.В., Плохов І.О. Підвищення ефективності використання рухомого складу при перевезенні пасажирів: матеріали XLVI наук. конф. 16 квітня 2015 р. Кіровоград: КНТУ, 2015. С. 4-5.

68. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Інформаційні аспекти діагностування агрегатів транспортних засобів. *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК2015)*: зб. матеріалів доп. учасн. Восьмої міжнародної науково-практичної конф. Київ : НАУ, 2015. С. 58-60.

69. Аулин В.В., Бичевой И.В., Лысенко С.В., Голуб Д.В. Метод получения диагностической информации о состоянии ЭС в период между техническими обслуживаниями для уточнения регламентов ТО. *Проблеми качества и эксплуатации автотранспортных средств: Эксплуатация и развитие автомобильного транспорта [Текст]*: материалы X междунар. заочн. науч.техн. конф. 15 мая 2015 г. Пенза: ПГУАС, 2015. С. 21-27.

70. Аулин В.В., Голуб Д.В., Плохов И.О. Учет объема пассажиропотока при корректировании сроков технического обслуживания подвижного состава городского транспорта. *Проблеми качества и эксплуатации автотранспортных средств: Эксплуатация и развитие автомобильного транспорта [Текст]*: материалы X междунар. заочн. науч.техн. конф. 15 мая 2015 г. Пенза: ПГУАС, 2015. С. 27-38.

71. Економічний аналіз: навч. посібник / Аулін В.В. та ін. Кіровоград, 2015. 142 с.

72. Аулін В.В., Голуб Д.В. Надійність функціонування транспортної системи як чинник підвищення ефективності економіки країни. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали VIII міжн. наук.практ. конф., 19-21 жовтня 2015 р. Вінниця: ВНТУ, 2015. С. 13-16.

73. Аулін В.В., Зеленський О.В., Голуб Д.В. Використання інформаційних технологій при розв'язанні проблеми удосконалення організації пасажирських перевезень автомобільним транспортом. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали

VIII міжн. наук.практ. конф., 19-21 жовтня 2015 р. Вінниця: ВНТУ, 2015. С. 22-24.

74. Аулін В.В., Гриньків А.В., Замота Т.М. Забезпечення та підвищення експлуатаційної надійності транспортних засобів на основі використання методів теорії чутливості. *Вісник інж. академії України*. 2015. №3. С. 66-72.

75. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Замота О.М. Методологія вибору та управління ефективністю використання техніки у сільськогосподарському виробництві. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2016. вип. 29. С.2-12.

76. Аулін В.В., Гриньків А. Использование теоретикоинформационного подхода для анализа технического состояния топливной системы автомобилей. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2016. Vol.18. No.2. P. 63-68.

77. Аулін В.В., Ливицкий А., Замота О., Гриньків А. Повышение эффективности использования мобильной сельскохозяйственной техники на предприятиях АПК. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2016. Vol.18. No.2. P. 117-122.

78. Аулін В.В., Гриньків А.В. Проблеми і задачі ефективності системи технічної експлуатації мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Сер. технічні науки*. 2016. №2 (77). С.36-41.

79. Аулін В.В., Гриньків А.В. Теоретичне обґрунтування моментів контролю технічного стану систем і агрегатів засобів транспорту. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2017. №8. С. 9-20.

80. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем : монографія / під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В.. Кропивницький: ТОВ "КОД", 2017. 370 с.

81. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Виявлення основних проблем сфери нормативного регулювання напрямків забезпечення та підвищення надійності автомобільних транспортних систем в Україні. *Підвищення надійності машин і обладнання: зб. матеріалів доп. учасн. XI Всеукраїнської науково-практичної конф.* Кропивницький: ЦНТУ, 2017. С. 24-26.

82. Аулін В.В., Біліченко В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О. Дослідження шляхів і сукупності факторів забезпечення належного рівня ефективності і надійності транспортних систем. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали X міжнародної науково-практичної конф., 23-25 жовтня 2017 р.* Вінниця: ВНТУ, 2017. С.21-24.

83. Аулін В.В., Біліченко В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О. Методологія підходів до дослідження шляхів і сукупності факторів

забезпечення належного рівня ефективності і надійності транспортних систем. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2017. №2, С. 4-14.

84. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологія визначення основних експлуатаційних властивостей та якості функціонування транспортних і технічних систем. *Вісник інж. академії України*. 2017. №2. С.110-115.

85. Аулін В.В., Гриньків А.В. Прогнозування технічного стану систем і агрегатів засобів транспорту на основі класифікації діагностичних часових рядів з пам'яттю. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки*: матеріали XI Міжнародної науково-практичної конф. Кропивницький: ЦНТУ, 2017. С. 4-6.

86. Аулін В.В., Голуб Д.В., Дьяченко В.О. Підвищення ефективності функціонування підприємств сільськогосподарського виробництва на основі логістичного підходу. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки*: матеріали XI Міжнародної науково-практичної конф. Кропивницький: ЦНТУ, 2017. С. 232.

87. Аулін В.В., Гриньків А.В. Реалізація удосконалення стратегії технічної експлуатації засобів транспорту та її технікоекономічна оцінка. *Актуальні задачі сучасних технологій*: зб. матеріалів доп. учасн. Міжнародної науковотехнічної конф. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. С.12-13.

88. Аулін В.В., Голуб Д.В. Методи оцінки і аналізу надійності автомобільних транспортних систем. *Актуальні задачі сучасних технологій*: зб. матеріалів доп. учасн. Міжнародної науковотехнічної конф. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. С.14-15.

89. Аулін В.В., Замота О.М. Економічна ефективність системи технічного обслуговування і ремонту мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки з елементами. *Актуальні задачі сучасних технологій*: зб. матеріалів доп. учасн. Міжнародної науковотехнічної конф. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. С.16-17.

90. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічне обґрунтування дослідження та розв'язання проблеми надійності функціонування транспортних систем. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2017. №10. С. 29-36.

91. Аулін В.В., Голуб Д.В. Забезпечення та підвищення надійності транспортних систем і процесів перевезень багатofункціональною роботою їх учасників. *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасн. V Міжнародної науково-технічної конф. Київ: НУБіП, 2018. С. 107-110.

92. Аулин В.В., Замота О.Н., Ливицкий А.Н. Влияние системы технического обслуживания и ремонта на себестоимость грузовых перевозок в сельскохозяйственном производстве. *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасн. V Міжнародної науковотехнічної конф. м. Київ: НУБіП, 2018. С. 112-115.

93. Аулін В.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Підвищення ефективності транспортних систем в АПК на основі логістичного підходу. *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасн. V Міжнародної науково-технічної конф. м. Київ: НУБіП, 2018. С. 135-138.

94. Аулін В.В., Голуб Д. В., Біліченко В. В. Формування критеріїв ефективності функціонування транспортних систем. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали VI-ої міжнародної науково-практичної інтернет-конф., 12-13 квітня 2018 р. Вінниця: ВНТУ, 2018. С.11-13.

95. Аулин В.В., Замота Т.Н., Замота О.Н., Гриньків А.В. Техникоэкономическое обоснование преимущества интеллектуальной стратегии технического обслуживания и ремонта легкового автомобиля. *Вісник інж. академії України*. 2017. №4. С.50-56.

96. Аулін В.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Оптимізація і управління ресурсами в транспортнологістичній системі АПК. *Наукові нотатки*. Луцьк: Луцький НТУ, 2018. №62. С.8-11.

97. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Критерії реалізації процесів забезпечення та підвищення надійності і ефективності функціонування транспортних систем. *Наукові нотатки*. Луцьк: Луцький НТУ, 2018. №62. С.12-16.

98. Аулін В.В., Гриньків А.В., Голуб Д.В., Агапоненко М.І. Розробка критерію вдосконалення системи технічної експлуатації засобів транспорту з врахуванням необхідної діагностичної інформації. *Наукові нотатки*. Луцьк: Луцький НТУ, 2018. №62. С.17-20.

99. Аулін В.В., Великодний Д.О. Методи формування системи транспортнотехнологічного забезпечення в АПК. *Транспорт і логістика: проблеми та рішення*: зб. матеріалів доп. учасн. VIII-ї Міжнародної науково-практичної конф. Одеса: КУПРІЄНКО СВ, 2018. С. 15-17

100. Аулін В.В., Аналіз напрямів підвищення надійності автомобільних транспортних систем. *Підвищення надійності машин і обладнання*: зб. матеріалів доп. учасн. XII Всеукраїнської науково-практичної конф. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. С. 87-91.

101. Аулін В.В., Голуб Д.В. Можливі методи вирішення проблеми підвищення надійності та ефективності функціонування транспортних систем, підсистем та їх елементів. *Підвищення надійності машин і обладнання*: зб. матеріалів доп. учасн. XII Всеукраїнської науково-практичної конф. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. С. 161-164.

102. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Удосконалення системи транспортного обслуговування підприємств агропромислового виробництва. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2017. Вип. 47, ч.ІІ. С. 3-10.

103. Viktor Aulin, Denis Velykodnyi, Viktoriya Dyachenko Concept of development and formation of transportlogistic systems in the agroindustrial complex. *Modern Management: Logistics and Education. Monograph*. 2018. P.165-169.

104. Аулін В.В., Замота Т. М., Гриньків А. В., Замота О. М., Чернай А. Е. Преимущества интеллектуальной стратегии технической эксплуатации с точки зрения экономической эффективности. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2018. Вип. 192. С. 29-40.

105. Аулін В.В., Голуб Д.В., Біліченко В.В. Методологічний підхід до визначення рівня якості функціонування транспортних систем. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2018. №1(7). С. 4-9.

106. Аулін В.В., Голуб Д.В. Методичні аспекти кількісної, якісної та часової оцінки параметрів надійності функціонування транспортних систем. *Вісник Житомирського державного технологічного університету Сер. Технічні науки*. 2018. № 2 (82). С.3-10.

107. Аулін В.В., Голуб Д.В., Луценко А.С. Математичний апарат оцінки надійності багатофункціональних транспортних систем. *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту*: зб. матеріалів доп. учасн. міжнародної науково-практичної інтернет-конф. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. С.33-41.

108. Аулін В.В., Панков А.А. Автоматизация и информатизация транспортных средств на основе распределенной системы управления с интеллектуальными мехатронными модулями. *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту*: зб. матеріалів доп. учасн. міжнародної науково-практичної інтернет-конф. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. С.97-100.

109. Аулін В.В., Головатий А.О. Вплив виробничотехнічної бази автотранспортного підприємства на ефективність його роботи та використання парку машин. *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту*: зб. матеріалів доп. учасн. міжнародної науково-практичної інтернет-конф. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. С.201-206.

110. Аулін В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О. Підвищення надійності процесу перевезень в транспортних системах різними способами структурного резервування. *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасн. VI Міжнародної науковотехнічної конф. Київ: НУБіП, 2019. С. 68-71.

111. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Замота О.М. Вплив надійності сільськогосподарської та транспортної техніки на оптимальний термін її служби. *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасн. VI Міжнародної науковотехнічної конф. Київ: НУБіП, 2019. С. 83-86.

112. Аулін В.В., Гриньків А.В. Вирішення проблеми підвищення експлуатаційної надійності з використання елементів інформаційних технологій. *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасн. VI Міжнародної науковотехнічної конф. Київ: НУБіП, 2019. С. 91-94.

113. Аулін В.В., Лисенко С.В., Гриньків А.В., Чернай А.Е., Лукашук А.П. Системноспрямований підхід до розробки технологій безрозбірного відновлення спряжень деталей. *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасн. VI Міжнародної науковотехнічної конф. Київ: НУБіП, 2019 С. 94-96.

114. Аулін В.В., Панков А.О., Замота Т.М. Аналіз критеріїв ефективності роботи засобів механізації на основі розмірностей фізичних величин. *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасн. VI Міжнародної науковотехнічної конф. Київ: НУБіП, 2019. С. 186-189.

115. Аулін В.В., Великодний Д.О., Голуб Д.В., Дьченко В.О. Підвищення ефективності управління логістичним ланцюгом постачання в транспортній системі. *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасн. VI Міжнародної науковотехнічної конф. Київ: НУБіП, 2019. С. 195-198.

116. Аулін В.В., Великодний Д.О., Дяченко В.О. Моделювання ланцюга постачання в транспортнологістичній системі. *Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання*: матеріали Третьої Всеукраїнської науково-теоретичної конф., 28–30 березня 2019 року. Дрогобич.: Посвіт, 2019. С.6-869.

117. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Голуб Д.В. Синергетика підвищення надійності машин використанням моделей марківських процесів. *Перспективи і тенденції розвитку конструкції та технічного сервісу с/х машин і знарядь*: зб. матеріалів доп. учасн. V Всеукраїнської науково-практичної конф. Житомир: Житомирський агротехнічний коледж, 2019. С. 242-245.

118. Аулін В.В., Гриньків А.В., Ляшук О.Л., Великодний Д.О. Принципові основи організації та вдосконалення системи технічного сервісу транспортних машин. *Перспективи і тенденції розвитку конструкції та технічного сервісу с/х машин і знарядь*: зб. матеріалів доп. учасн. V Всеукраїнської науково-практичної конф. Житомир: Житомирський агротехнічний коледж, 2019. С. 245-248.

119. Аулін В.В., Панков А.О., Гриньків А.В., Голуб Д.В., Щеглов А.В. Розробка інтелектуального мехатронного модуля для системи управління дозуванням. *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК2019)*: зб. матеріалів доп. учасн. Дванадцятої міжнародної науково-практичної конф. Київ : НАУ, 2019. С.173-175.

120. Аулін В.В., Панков А.О., Щеглов А.В. Дослідження пневмоструминних висівних апаратів дискретної дії для швидкісної сівби в інформаційній системі землеробства. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Сер. Агроінженерні дослідження*. 2018. № 22. С.31-40.

121. Viktor Aulin, Olexiy Pavlenko, Denys Velikodnyy, Oleksandr Kalinichenko2, Andriy Hrinkiv, Viktoriy Diychenko, Volodymyr Dzyura Methodological approach to estimation of efficiency of the facing of the stock complex of transport and logistic centers in Ukraine. *ICCPT 2019: Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference*, May 28-29, 2019, Ternopil, Ukraine. С.120-134.

122. Аулін В.В., Лисенко С.В., Жилова І.В., Вербицький О.В. Синергетичне підвищення надійності трибоспряджень деталей систем і агрегатів транспортних машин. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability*: матеріали 1-ої Міжнародної

науково-практичної конф., 17-19 квітня 2019 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2019. С.7-8.

123. Аулін В.В., Великодний Д.О. Моделювання ланцюга постачання в транспортнологістичній системі. *Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання*: матеріали 3-ї Всеукр. наук.теорет. конф., 28 - 30 березня 2019 р. Дрогобич.: Посвіт, 2019. С. 68-69.

124. Аулін В.В., Голуб Д.В. Забезпечення ефективності функціонування транспортних систем шляхом підвищення надійності структурнофункціональних резервних схем процесу доставки. *Наука – виробництво 2019*: зб. матеріалів доп. учасн. І наукової конф. Кропивницький: ЦНТУ, 2019. С. 17-20.

125. Аулін В.В., Степанов О.О., Кудря Д.Ю., Дібрівний В.С., Голуб Д.В. Оцінка надійності автомобільних транспортних систем з використанням кількісних параметрів. *День науки – 2019, приурочений до 90річчя ЦНТУ*: зб. матеріалів доп. учасн. ІІІ наукової конф.Кропивницький: ЦНТУ, 2019. С. 53-55.

126. Аулін В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Розв'язання проблеми надійності технологічних процесів вантажних перевезень підприємствами агропромислового виробництва. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2019. Вип. 1(32). Кропивницький: ЦНТУ. С.36-45.

127. Аулін В.В., Великодний Д. О., Тирса Я. В., Кабак В. Д. Оцінка ефективності функціонування міського пасажирського транспорту з урахуванням вибору маршруту пасажиром. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали VIII-ої міжн. наук.практичної інтернет-конф., 14-15 квітня 2020 р. Вінниця: ВНТУ, 2020. С.15-16

128. Аулін В.В., Голуб Д. В., Біліченко В. В., Замуренко А. С. Принципи самоорганізації автомобільних транспортних систем. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали VIII-ої міжн. наук.практичної інтернет-конф., 14-15 квітня 2020 р. Вінниця: ВНТУ, 2020. С.17-19.

129. Аулін В.В., Гриньків А В., Головатий А.О. Системна концепція аналізу автотранспортної техніки та зміни її технічного стану підчас експлуатації. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали VIII-ої міжн. наук.практичної інтернет-конф., 14-15 квітня 2020 р. Вінниця: ВНТУ, 2020. С.20-22.

130. Аулін В.В., Голуб Д., Замуренко А. Підвищення ефективності транспортного процесу формуванням інформаційних потоків в системі перевезень вантажів. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем*: матеріали ІІ Міжнародної науковотехнічної інтернет-конф., 25-27 березня 2020 р. Рівне : НУВГП, 2020. С. 41-43.

131. Аулін В.В., Гриньків А., Головатий А Рівні завдань та структура функціонування системи технічного сервісу транспортних машин. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування*

транспортних систем: матеріали II Міжнародної науковотехнічної інтернет-конф., 25-27 березня 2020 р. Рівне : НУВГП, 2020. С. 123-125.

132. Аулін В.В., Голуб Д.В., Біліченко В.В., Замуренко А.С. Формування показників оцінки ефективності транспортного процесу перевезень. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2020. №1(11). С.5-10.

133. Аулін В.В., Лисенко С.В., Гриньків А.В. Модель надійності деталей транспортних машин за процесами реалізації триботехнологій їх припрацювання і відновлення. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2019. Вип. 2(33). С.50-64.

134. Аулін В.В., Замота Т.Н., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Крупица О.В., Панайотов К.К. Обоснование использования современных подходов для усовершенствования диагностирования систем и агрегатов автомобиля. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2019. Вип. 2(33). С.65-75.

135. Аулін В.В., Гриньків А.В. Теоретичне обґрунтування якісного і кількісного приросту надійності електронних систем транспортних машин. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability*: матеріали Міжнародної науково-практичної конф., 15-17 квітня 2020 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2020. С.129-131.

136. Аулін В.В., Гриньків А.В., Кіберфізичний підхід в дослідження стану технічних систем. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability*: матеріали Міжнародної науково-практичної конф., 15-17 квітня 2020 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2020. С.168-169.

137. Аулін В.В., Гриньків А.В., Голуб Д.В., Лисенко С.В., Головатий А.О. Визначення раціональної схеми доставки вантажних відправлень на основі експериментальних досліджень. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability*: матеріали Міжнародної науково-практичної конф., 15-17 квітня 2020 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2020. С.197-204.

138. Аулін В.В., Гриньків А.В., Головатий А.О. Інтелектуальні транспортні системи як результат впровадження інноваційних ефективних технологій. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability*: матеріали Міжнародної науково-практичної конф., 15-17 квітня 2020 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2020. С.207.

139. Аулін В.В., Голуб Д.В., Дібрівний В.С., Талалаєв О.М., Шерстюков В.В., Ніколенко Б.М. Інформаційна модель забезпечення надійності та ефективності транспортних процесів пасажирських перевезень. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability*: матеріали Міжнародної науково-практичної конф., 15-17 квітня 2020 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2020. С.230-232.

Список використаних джерел до розділу 4

1. Кученкова А. В. О методе качественного сравнительного анализа с использованием нечетких множеств. *Вестник РГГУ. Сер. Философия. социология. искусствоведение*. 2014. № 4 (126). С. 42-54.
2. Кученкова А. В. Особенности логикокомбинаторных методов как средств многомерного анализа данных. *Вестник РГГУ. Сер. Философия. социология. искусствоведение*. 2012. № 2 (82). С. 113-130.
3. Гинис Л. А. Обзор методов научного прогнозирования. *Известия Южного федерального университета. Технические науки*. 2009. № 92(3). С. 231-236.
4. Ершова Е. А. Методы статистического анализа. *European research*. 2016. № 12 (23). С. 27-29.
5. Сухоруков М. В., Бабенко А. Г. Система управления комплексом мокрой магнитной сепарации с использованием методов теории нечетких множеств. *Известия Уральского государственного горного университета*. 2000. № 9. С. 78-86.
6. Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. Москва: Финансы и статистика, 2000.
7. Белоусов Р.Л., Дрожжин Н.А., Костенчук М.И. Построение нечетких лингвистических переменных с использованием методов кластерного анализа данных. *Прикладная информатика*. 2015. № 1(55). С. 98-105.
8. Шалдаев О.О., Лукичева С.В. Перспективы применения нечеткой логики. *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*. 2017. № 2(13). С. 311-313.
9. Портнягин Н. Н., and Марченко А. А. Возможность применения нейрорегуляторов в судовой САУ. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. 2010. № 12. С. 5-10.
10. Ткалич С.А., Моисеев С.А. Проектирование системы идентификации и прогнозирования аварийных ситуаций процесса вулканизации на основе модели нечеткого логического вывода. *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2011. № 7(3). С. 38-46.
11. Борисов А. К., Крумберг О. А., Федоров И. П. Принятие решений на основе нечетких моделей. Рига: Зинатне, 1990.
12. Вагин В. К., Загорянская А. А. Организация абдуктивного вывода средствами теории аргументации. *Тр. конгресса "Искусственный интеллект в 21 веке"*. Москва: Изд-во физикоматематической литературы, 2001.
13. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / пер. с англ. Москва: Мир, 1976.
14. Логический подход к искусственному интеллекту / пер. с фр. А. Тейз и др. Москва: Мир, 1990.
15. Лорьер Ж.Л. Системы искусственного интеллекта / пер. с фр. / под ред. В. Л. Стефанюка. Москва: Мир, 1991.
16. Нейлор К. Как построить свою экспертную систему / пер. с англ. Москва: Энергоатомиздат, 1991.

17. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения / пер. с англ. / под ред. Р. Р. Ягера. Москва: Радио и связь, 1986.
18. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / под ред. Д. А. Поспелова. Москва : Физматлит, 1986.
19. Осуга С. Обработка знаний / пер. с яп. Москва: Мир, 1989.
20. Представление и использование знаний / пер. с яп. / под ред. Х.Уэно, М. Исидзука. Москва : Мир, 1989.
21. Фор А. Восприятие и распознавание образов / пер. с фр./ под ред. Г. П. Катьга. Москва :Машиностроение, 1989.
22. Фролов Ю. В. Интеллектуальные системы и управленческие решения. Москва : МГПУ, 2000.
23. Хант Э. Искусственный интеллект / пер. с англ./ под ред. В. Л. Стефанюка. Москва : Мир, 1978.
24. Экспертные системы. Принципы работы и примеры: пер. с англ. / под ред. Р. Форсайта. Москва : Радио и связь, 1987.
25. Жбанова Н. Ю., Блюмин С. Л. Параметрическая идентификация кусочнолинейных и кусочнонелинейных многоэтапных нечетких процессов. *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2016. № 11(118). С. 84-93.
26. Блюмин С. Л., Шмырин А. М., Жбанова Н. Ю. Реализация программного комплекса для настройки и последующей работы с разностными нейронечёткими переключаемыми моделями. *Вестник российских университетов. Математика*. 2014. № 19(2). С. 341-348.
27. Кудинов Ю. И., Дорохов И. Н., Пашенко Ф. Ф. Нечеткие регуляторы и системы управления. Проблемы управления. 2004. № 3. С. 214.
28. Березин М. А., Пашенко Ф.Ф. Параметрическая идентификация класса нечетких систем с помощью устойчивого рекуррентного алгоритма. *Прикладная информатика*. 2011. № 6 (36). С. 111-116.
29. Готман Н.Э., Шумилова Г.П., Старцева Т.Б. Верификация топологии электроэнергетической системы на основе нечетких нейронных сетей. *Известия Коми научного центра УРО РАН*. 2015. № 4 (24). С. 70-78
30. Судавный А. С. Применение искусственных нейронных сетей в электроэнергетическом комплексе. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2012. № 12 (3). С. 136-139.
31. Жбанова Н. Ю., Блюмин С. Л. Параметрическая идентификация кусочнолинейных и кусочнонелинейных многоэтапных нечетких процессов. *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2016. № 11 (118). С. 84-93.
32. Швец А.В. Прогнозирование контейнеропотока интермодального оператора с использованием теории нечетких множеств. Наука и прогресс транспорта. *Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта*. 2009. № 28. С. 175-185.
33. Киселёва Э.А., Краева А.А., Савинова Ю.С. Обзор нечеткой логики в управлении. *"Integral"*. 2019. № 3. С. 401-405.

34. Семухин М. В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях. Издательство ТГУ. 2008. 349 с.

35. Приймак А. С., Ленченков Е. В., Шумихин А. Г. Прогнозирование результатов деятельности проектной организации на основе алгоритмов нечеткой логики. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления*. 2010. № 4. С. 140-146.

36. Костикова А. В., Скитер Н. Н. Формирование динамической базы знаний систем нечеткого вывода для оценки объектов, изменяющихся во времени. *EManagement*. 2018. № 1 (1). С. 52-59.

37. Зубкова Т.М., Ишакова Е.Н. Автоматизация управления рисками программных проектов на основе нечеткого логического вывода. *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2015. № 15 (5). С. 877-885.

Список використаних джерел до розділу 5

1. Барцев С.К, Охонин В.А. Адаптивные сети обработки информации. Красноярск: Институт физики СО АН СССР, 1986.
2. Компьютер обретает разум. Москва : Мир, 1990.
3. Маккалох Дж., Питтс У. Логические исчисления идей, относящихся к нервной деятельности. Автоматы. Москва: ИЛ, 1956.
4. Минский М., Пейперт С. Перцептроны. Москва : Мир, 1971.
5. Мкртчян С.О. Нейроны и нейронные сети (Введение в теорию формальных нейронов и нейронных сетей). Москва : Энергия, 1971.
6. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / пер. с польск. И.Д. Рудинского. Москва: Финансы и статистика, 2002.
7. Позин Н.В. Моделирование нейронных структур. Москва: Наука, 1970.
8. Розенблат Ф. Принципы нейродинамики. Москва: Мир, 1965.
9. Соколов Е.Н., Вайтнявичус Г.Г. Нейроинтеллект: от нейрона к нейрокомпьютеру. Москва : Наука, 1989.
10. Трикоз Д.В. Нейронные сети: как это делается?. *Компьютеры + программы*. 1993. №4(5).
11. Тенк Д.У., Хопфиль Д.Д. Коллективные вычисления в нейроподобных электронных схемах. *В мире науки*. 1988. №92.
12. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. Москва : Мир, 1992.
13. Фролов Ю.В. Интеллектуальные системы и управленческие решения. Москва : Издво МГПУ, 2000.
14. Хинтон Дж.Е. Как обучаются нейронные сети. *В мире науки*. 1992. №1112.
15. Kohonen T. Selforganization and associative memory. *New York: Springer*, 1984.

16. Засядько, Д. В. Корректировка матрицы транспортных корреспонденций через значения интенсивности потоков на участках сети. *Автомобильный транспорт*. 2012. №31. С. 105-108.

17. Гецович Е.М., Засядько Д.В. Построение матрицы транспортных корреспонденций, транзитных для центральной деловой части мегаполиса. *Автомобильный транспорт*. 2014. № 34. С. 60-64.

18. Алёшин Г.В., Сословский В.Г., Ярута А.М. Принципы построения централизованного многоцелевого, оптимального регулирования движения транспортных средств в городах и регионах. *Автомобильный транспорт*. 2009. № 25. С. 36-42.

19. Kovalenko L., Urdzik S. Analysis of traffic conditions in urban thoroughfares. *Вестник Харьковского национального автомобильнодорожного университета*. 2006. № 3435. С. 56-59.

20. Никонов, О. Я., Подоляка, О. А., Улько, В. Ю. Нейробионика автомобиля на основе методов эволюционного моделирования. *Автомобильный транспорт*. 2011. №28. С.136-140.

21. Никонов О.Я., Шуляков В. Н. Интегрированные информационноуправляющие телематические системы транспортных средств. *Автомобильный транспорт*. 2010. № 27. С. 83-87.

22. Зубова Н.В.. Разработка алгоритмов управления и прогнозирования для повышения энергоэффективности ветроэнергетической установки с использованием нечеткой логики и нейронных сетей. *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2017. № 91. С. 23-29.

23. Бураков М. В., Коновалов, А. С. Нейронечеткие системы управления. *Информационноуправляющие системы*. 2002. №1. С. 27.

24. Алексеев, О. П., Алексеев, В. О., Логачов, Е. П., Туренко, А. И. Телематика, Мехатроника и синергетика на автомобильном транспорте. *Автомобильный транспорт*. 2009. № 25. С. 10-15

25. Алексеев, О. П., Дзюбенко, А. В., Неронов, С. Н., & Пронин, С. В. Тенденции развития и практика интеллектуализации транспортных машин и систем. *Автомобильный транспорт*. 2009. №25. С. 19-21.

26. Богомолов, В. А., Алексеев, В. О. Проблема создания единого информационного пространства транспортных организаций. *Автомобильный транспорт*. 2009. №25. С. 86-90.

27. Родионова, А.Ю. Логистические системы в ресурсном обеспечении потенциала предприятий. *Управление проектами и развитие производства*. 2012. №1 (41). С. 83-90

28. Fedotova, I., Kibets, I. Взаємозв'язок маркетингу та логістики в автотранспортному підприємстві. *Економіка транспортного комплексу*. 2012. № 19. С. 57-67.

29. Величко, А. П. Сущность и классификация логистических образований как объектов управления и их особенности в АПК. *Экономический вестник Донбасса*. 2012. № 27 (1). С. 173-178.

30. Svyatnenko, V., Netroba, I. Practical aspects of implementation of information systems in management to the Ukrainian enterprises. *Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Сер.: Економіка*. 2012. №137. № 26-31.

31. Алексеев, В. О., Кравец, В. А. Физическая модель цифровой нервной системы автомобиля. *Вестник Харьковского национального автомобильнодорожного университета*. 2012. №56. С. 116-118.

32. Алексеев, О. П., Табулович, В. П., Челак, М. В., Симаков, А. Е. Мультимедийные гибкие компьютеризированные системы непрерывного мониторинга технического состояния автомобиля. *Автомобильный транспорт*. 2009. №25. С. 41-45.

33. Хабаров, В. О., Верченко, В. В. Гибкая мобильная компьютеризированная система экологического мониторинга наземных транспортных систем. *Автомобильный транспорт*. 2009. №25. С. 105-109

34. Семенова, О. А. Моделирование адаптивной системы нейронечеткого вывода при решении задач управления. *Вестник Волжского университета*. 2011. №17. С. 8-12.

35. Кузькин, А. А. Оценивание показателей эффективности и результативности ИТ-процессов с использованием гибридных нейронечетких сетей. *Вестник евразийской науки*. 2014. №1 (20). С. 67-79.

36. Толстель, О. В. Аппаратная реализация нейронечеткого контроллера. *Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер. Физикоматематические и технические науки*. 2007. № 10. С. 53-55.

37. Толстель, О. В. Извлечение умений для интеллектуальных систем управления. *Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Физикоматематические и технические науки*. 2008. № 10. С. 56-61.

38. Корягин, Е. В., Ложкин, П. В., Прокопович, П. А. Основные системы интеллектуальных мобильных устройств. *Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер. Физикоматематические и технические науки*. 2007. № 10. С. 62-72.

Список використаних джерел до розділу 6

1. Батищев Д.И. Генетические алгоритмы решения экстремальных задач: учеб. пособие. Воронеж: Издательство ВГТУ, 1995.

2. Букатова И.Л. Эволюционное моделирование и его приложения. Москва : Наука, 1979.

3. Букатова И.Л. и др. Эвоинформатика. Теория и практика эволюционного моделирования. Москва : Наука, 1991.

4. Гудман Э.Д., Коваленко А.П. Эволюционные вычисления и генетические алгоритмы. *Обзор прикладной и промышленной математики*. 1996. Т 3. Вып.5.

5. Корнеев В.В. и др. Базы данных. Интеллектуальная обработка, информации. Москва : Нолидж, 2000.

6. Корячко В.П., Курейчик В.М., Норенков И.П. Теоретические основы САПР. Москва : Энергоатомиздат, 1987.
7. Курейчик В.М. Генетические алгоритмы: Монография. Таганрог: ТРТУ, 1998.
8. Курейчик В.М. Генетические алгоритмы в проектировании СБИС: учеб. пособие. Таганрог: ТРТУ, 1997.
9. Курейчик В.М. Методы генетического поиска: учеб. пособие. Таганрог: ТРТУ, 1998.
10. Растринин Л.А. Статистические методы поиска. Москва : Наука, 1968.
11. Стецюра Г.Г. Эволюционные методы в задачах управления, выбора и оптимизации. *Приборы и системы управления*. 1998. №3.
12. Фогель Л., Оуэнс А., Уолш М. Искусственный интеллект и эволюционное моделирование. Москва : Мир, 1969.
13. Фролов Ю.В. Интеллектуальные системы и управленческие решения. Москва : МГПУ, 2000.
14. Холланд Дж. Генетические алгоритмы. *В мире науки*. 1992. № 910.
15. Цетин М.Л. Исследование по теории автоматов и моделирование биологических систем. Москва: Наука, 1969.
16. Ackley D.H. A Connection machine for genetic hillclimbing. *Boston: Kluwer Academic Publishers, USA*, 1987.
17. Booker L.B., Goldberg D.E., Holland J. Classifier systems and genetic algorithms. *Ibid*. 1989. №13.
18. Branke J., Kohlmorgen U., Sshmeck H. A distributed genetic algorithm improving the generalization behavior of neural networks. *LNAI*. 1995. L 9-12.
19. Dzerovski S., Petrovski I. Discovering dynamics with genetic programming. *LNAI*. Vol.784.
20. Fogel D. Evolutionary computation. IEEE press. 1995.
21. Fogel D.B., Atmar J. W. Comparing genetic operators with gaussian mutations in simulated evolutionary process using linear systems. *Biol. Cybernetics*. 1990. Vol.63.
22. Foundation of Genetic Algorithms. Ed. by rawens gregory. San Mateo: Moigan Kaufman Publishers, California, USA, 1991.
23. Goldberg David E. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning. AddisonWesley Publishing Company, Inc. 1989.
24. Gruckles B.P., Party F.E. Genetic algorithms. Los Alamos: IEEE Computer Society Press, LA, USA, 1992.
25. Handbook of Genetic Algorithms. Ed. by Lawrence Davis, Van Nostrand Reinholds. New York, 1991.
26. Holland J.H. Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control and artificial intelligence. University of Michigan, 1975.
27. Koza J. Genetic evolution and coevolution of computer programs. Artificial life 2. Proceedings of the Wsrkshop on Artificial life, 1990.
28. Koza J. Genetic programming. MIT press, 1992.

29. Koza J. GP2: Automatic discovery of reusable programs. MIT press, 1994.
30. Ono N., Rahmani A. Selforganization of communication in distributed learning classifier systems. *Artificial neural nets and genetic algorithms*.: proceedings of the International Conference, 1993. P. 361-367.
31. Schwefel H.P. Numerical optimization of computer models. New York: John Willey, 1981.
32. Schwefel H.P. Evolution and optimum searching. New York: John Willey, 1995.
33. Дуккардт, А. Н., & Лебедев, Б. К. Комплексный гибридный генетический алгоритм разбиения схем. *Известия Южного федерального университета. Технические науки*. 2008. № 81 (4). С. 26-32.
34. Бухтояров В. В., Глушков В. А. О коллективных интеллектуальных методах решения задачи моделирования состояния технологического оборудования для предупреждения инцидентов безопасности. *Научные и образовательные проблемы гражданской защиты*. 2014. № 1. С. 20-26.
35. Чалый С.Ф. Использование методов эволюционной биокibernетики при проектировании распределенных информационных систем. *Радиоэлектроника и информатика*. 2000. №4 (13), С. 136-138.
36. Гудилов, В. В. Динамическое эволюционное моделирование. *Известия Южного федерального университета. Технические науки*. 2012. №11 (136). С. 198-205.
37. Савельев, М. В., Енгибарян И. А. Решение задач целочисленного программирования на основе генетических алгоритмов. *Известия высших учебных заведений. СевероКавказский регион. Естественные науки*. 2005. №9. С. 18-21.
38. Макарычев П. П., Слепцов Н. В. Алгоритмы генерации деревьев для генетического поиска. *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки*. 2015. №2 (34). С. 16-23.
39. Лебедев, Б. К., Лебедев, О. Б. Разбиение на основе гибридной многоуровневой адаптации. *Известия Южного федерального университета. Технические науки*. 2008. № 86 (9). С. 5259.
40. Мелихова, О. А., Мелихова, З. А. Использование эволюционных вычислений в системах принятия решений. *Известия Южного федерального университета. Технические науки*. 2008. № 81 (4). С. 32-35.
41. Пастухов, Р. К., Коршунов, А. В., Турдаков, Д. Ю., Кузнецов, С. Д. Улучшение качества разбиения графа с помощью многоуровневой оптимизации. *Труды Института системного программирования РАН*. 2014. № 26 (4). С. 21-32.
42. Лебедев, Б. К., Лебедев, О. Б. Разбиение на основе гибридной многоуровневой адаптации. *Известия Южного федерального университета. Технические науки*. 2008. № 86 (9). С. 52-59.
43. Лебедев, Б. К., Лебедев, О. Б. Разбиение как процесс эволюционной модификации матрицы смежности. *Известия Южного федерального университета. Технические науки*. 2007. № 77 (2). С. 39-45.

44. Ищенко, С. Н. Модифицированная архитектура генетического поиска. *Известия Южного федерального университета. Технические науки*. 2007. № 77 (2). С. 35-40.

45. Курейчик, В. М. Генетический алгоритм компоновки на основе дублирования элементов. *Известия Южного федерального университета. Технические науки*. 2007. № 73 (1). С. 35-40.

46. Рябец М.Н. О нормировочных коэффициентах в многокритериальных задачах на базе генетических алгоритмов. *Известия Южного федерального университета. Технические науки*. 2000. № 16 (2). С. 112-114.

47. Бухтояров В.В., & Семенкин Е.С. Разработка и исследование комплексного эволюционного подхода для проектирования коллективов нейронных сетей. *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*. 2010. № 1 (6). С. 313-314.

48. Жуков В.Г., Бухтояров В.В. Разработка и исследование метода обнаружения инцидентов информационной безопасности на основе коллективов интеллектуальных информационных технологий. *Решетневские чтения*. 2013. № 2 (17). С 283-284.

49. Чалый Сергей Федорович Использование методов эволюционной биокibernетики при проектировании распределенных информационных систем. *Радиоэлектроника и информатика*. 2000. №4 (13). С. 136-138.

50. Жуликов, С. Е., Попов, В. А. Эволюционное моделирование в задаче "Умный муравей" на основе генетических алгоритмов. *Вестник российских университетов. Математика*. 2014. № 19 (6). С. 1829-1835.

51. Давыдов А.А., Соколов Д.О., Царев Ф.Н. Применение генетических алгоритмов для построения автоматов Мура и систем взаимодействующих автоматов Мили на примере задачи об "Умном муравье". *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2008. № 53, С. 108-114.

52. Ляшов М.В., Береза А.Н., Коцюбинская С.А. Аппаратноориентированный генетический алгоритм синтеза конечных автоматов. *Инженерный вестник Дона*. 2018. №4 (51). С. 69-84.

53. Бегляров, В. В., Берёза, А. Н. Гибридный эволюционный алгоритм решения систем линейных алгебраических уравнений, описывающих электрические цепи. *Инженерный вестник Дона*. 2013. № 1 (24). С. 44-56.

54. Арженовский С.В., Синявская Т.Г., Рудяга А.А. Решение задачи целочисленной оптимизации для фирмы. *Учет и статистика*. 2017. № 4 (48). С. 36-43.

55. Аулін В.В., Солових А.Є. Методологічні аспекти застосування математичних методів і моделей в економіці. *Наукові праці КДТУ. Екон. науки*. 2000. Вип.8. С.147-150.

56. Аулін В.В., Іващук В.О., Каськов В.С. Моделювання системи рейтингового управління. Теорія і практика перебудови економіки. 2000. С.107-109.

57. Аулін В.В., Жулай О.Ю., Бобрицький В.М. Теоретичні основи діагностичного моніторингу і системи керування технічним станом мобільної сільськогосподарської техніки. *Праці Таврійської держ. агротехн. академії*. 2006. Вип.39. С.43-54.
58. Аулін В.В., Фізичні основи процесів і станів самоорганізації в триботехнічних системах: монографія. Кіровоград: Лисенко В.Ф., 2014. 370 с.
59. Аулін В.В., Методологія розв'язання проблеми підвищення зносостійкості деталей і робочих органів сільськогосподарської техніки. *Вісник ЖНАЕУ*. 2014. № 2 (45), т.4, ч.ІІ. С. 80-91.
60. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Інформаційні аспекти діагностування агрегатів транспортних засобів. *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК2015)*: зб. матеріалів доп. учасн. Восьмої міжнародної науково-практичної конф. Київ : НАУ, 2015. С. 58-60.
61. Аулин В.В., Бичевой И.В., Лысенко С.В., Голуб Д.В. Метод получения диагностической информации о состоянии ЭС в период между техническими обслуживаниями для уточнения регламентов ТО. *Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: Эксплуатация и развитие автомобильного транспорта [Текст]*: материалы X междунар. заочн. науч.техн. конф., 15 мая 2015 г., Пенза: ПГУАС, 2015. С. 21-27.
62. . Аулин В.В., Гринькив А.В., Лысенко С.В. Связь информационной энтропии с показателями надежности агрегатов и транспортных средств. *Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: Эксплуатация и развитие автомобильного транспорта [Текст]*: материалы X междунар. заочн. науч.техн. конф., 15 мая 2015 г., Пенза: ПГУАС, 2015. С. 39-44.
63. Економічний аналіз: навч. посіб. / Аулін В.В. та ін. Кіровоград, 2015. 142 с.
64. Аулін В.В., Голуб Д.В. Надійність функціонування транспортної системи як чинник підвищення ефективності економіки країни. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали VIII міжн. наук.практ. конф., 19-21 жовтня 2015 р. Вінниця: ВНТУ, 2015. С. 13-16.
65. Аулін В.В., Гриньків А.В. Прогнозування технічного стану систем і агрегатів засобів транспорту на основі класифікації діагностичних часових рядів з пам'яттю. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки*: матеріали XI Міжнародної науково-практичної конф. Кропивницький: ЦНТУ, 2017. С. 46.
66. Аулін В.В., Панков А.А. Эволюционное вычисление жизненного цикла технических средств на основе генетических алгоритмов. *Вісник інж. академії України*. 2017. №2. С.116-119.

Список використаних джерел до розділу 7

1. Варшавский В.И., Поспелов Д.А. Оркестр играет без дирижера. Москва : Наука, 1984.

2. Гаазе - Раппопорт М.Г., Поспелов Д.А. От амебы до робота. Модели поведения. Москва : Наука, 1987.
3. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. Санкт-Петербург: Питер, 2000.
4. Городецкий В.И. Многоагентные системы: основные свойства и модели координации поведения. *Информационные технологии и вычислительные системы*. 1998. № 1.
5. Кудрявцев Е.Ж. Исследование операций в задачах, алгоритмах и программах. Москва: Радио и связь, 1984.
6. Лефевр В. Конфликтующие структуры. Москва : Советское радио, 1973.
7. Моделирование обучения и поведения. Москва : Наука, 1975.
8. Орлик С. Многоуровневые модели в архитектуре клиентсервер. 1997.
9. Поспелов Д.А. Многоагентные системы: настоящее и будущее. *Информационные технологии и вычислительные системы*. 1998. №1.
10. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Москва : Радио и связь, 1989.
11. Смирнов А.В., Пашкин М.П., Рахманова И.О. Многоагентные системы поддержки принятия решений для предприятий малого и среднего бизнеса. *Информационные технологии и вычислительные системы*. 1988. №1.
12. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. Москва : Эдиториал УРСС, 2002.
13. Трахтенгерц Э.А. Взаимодействие агентов в многоагентных системах. *Автоматика и телемеханика*. 1998. № 9.
14. Цетлин М.Л. Исследования по теории автоматов и моделированию биологических систем. Москва: Наука, 1969.
15. Autonomy. Autonomy Technology Whitepaper. 1998.
16. Brooks R.A. Intelligence without Representation. *Artificial Intelligence*. 1991. No.47.
17. Georgeff M.P., Rao S. Social plans: Preliminary report. Proceedings of 3rd European Workshop on Modeling Autonomous Agents and MultiAgent Worlds, 1992.
18. Gopalan R.S. A Detailed Comparison of CORBA, DCOM and Java/RNI (with specific code examples).
19. Nwana H.S. Software Agents: An Overview. *Knowledge Engineering Review*. 1996. No.3. Vol.11.
20. Pagina H. Intelligent Software Agent on the Internet. 1996.
21. Villemin F.Y. Ontologies based relevant information retrieval.
22. WebCompass. WebCompass Page. 1999.
23. Wooldridge M., Jennings N. Inntellidgent Agents: Theory and Practice. *Knowledge Engineering Review*. 1995. №10(2).
24. Zlotkin G., Rosenschein J.S. Mechanisms for Automated Negotiation in State Oriented Domain. *Journal of Artificial Inteeligence Research*. 1996. № 5.

25. Кизим, А.В., Кравец, А.Д., & Кравец, А.Г. Генерация интеллектуальных агентов для задач поддержки технического обслуживания и ремонта. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2012. №321(5). С.131-134.

26. Ландсберг С.Е., Хованских А.А. Особенности построения информационных систем с использованием мультиагентных технологий. *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2014. № 10 (31). С. 37-39.

27. Ландсберг, С.Е., Хованских, А.А. Некоторые аспекты проектирования мультиагентных систем с использованием языка UML. *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2012. №8(9). С.4-8.

28. Батищев, С.В., & Скобелев, П.О. Основные этапы разработки мультиагентных систем в инструментальной среде для создания интернетприложений. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2003. № 5 (1). С. 96-104.

29. Скобелев, П.О. Открытые мультиагентные системы для поддержки процессов принятия решений при управлении предприятиями. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2001. №3(1). С.71-79.

30. Жилиев А.А. Онтологии как инструмент создания открытых мультиагентных систем управления ресурсами. *Онтология проектирования*. 2019. № 9(2(32)). С.261-281.

31. Шпиловой, В.Ф., Скобелев, П.О., Симонова, Е.В., Царев, А.В., Кожевников, С.С., Кольбова, Э.В., Майоров, И.В., Шепилов, Я.Ю. Разработка мультиагентной системы "Smart Factory" для оперативного управления ресурсами в режиме реального времени. *Информационноуправляющие системы*. 2013. №6(67). С.91-98.

32. Скобелев П.О. Ситуационное управление и мультиагентные технологии: коллективный поиск согласованных решений в диалоге. *Онтология проектирования*. 2013. №2 (8). С.26-48.

33. Иващенко, А.В., Карсаев, О.В., Скобелев, П.О., Царев, А.В., Юсупов, Р.М. Мультиагентные технологии для разработки сетевых систем управления. *Известия Южного федерального университета. Технические науки*. 2011. №116(3). С.11-23.

34. Баклашов, В.И., Комаров, В.А., Лахин, О.И., Полончук, Е.В., Скобелев, П. О., Шпиловой, В. Ф. Новая концепция создания интеллектуальных систем управления жизненным циклом на принципах сетевидного управления, онтологий и мультиагентных технологий. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2014. №16(15). С.1296-1298.

35. Юрыгина Ю.С., Скорюпина Е.Г., Лахин О.И., Мишурова Н.В. Подход к разработке системы распознавания и предупреждения нештатных ситуаций транспортного грузового корабля "Прогресс" на основе

мультиагентных технологий и онтологий. *Информационноуправляющие системы*. 2016. №1 (80). С. 50-57.

36. Матюшин, М.М., Вакурина, Т.Г., Котеля, В.В., Скобелев, П.О., Лахин, О.И., Кожевников, С.С., Симонова, Е.В., Носкова, А.И. Методы и средства построения онтологий для визуализации связанных информационных объектов произвольной природы в сложных информационноаналитических системах. *Информационноуправляющие системы*. 2014. №2(69). С.9-17.

37. Навроцкий М.А., Жукова Н.А., Муромцев Д.И. Онтология проектирования, применения и сопровождения порталов научнотехнической информации. *Онтология проектирования*. 2018. № 8 (1 (27)). С. 96-109.

38. Нгуен, Д.Х., Кизим, А. В., Камаев, В.А. Проектирование системы удостоверяющих центров на основе мультиагента. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2011. № 3, С. 210-212.

39. Васев А.Н., Мисбахов Р.Ш., Зиганшина А.И., Федотов В.В. Комбинированные системы сбора и передачи технологической и диагностической информации АСУТП электроустановок. *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. 2018. № 20 (1112), С. 16-26.

40. Маслобоев, А.В., Путилов, В.А. Разработка и реализация механизмов управления информационной безопасностью мобильных агентов в распределенных мультиагентных информационных системах. *Вестник Мурманского государственного технического университета*. 2010. № 13(42). С. 1015-1032.

41. Маслобоев, А.В. Модели и алгоритмы взаимодействия программных агентов в виртуальной бизнессреде развития инноваций. *Вестник Мурманского государственного технического университета*. 2009. №12(2). С. 224-234.

Список використаних джерел до розділу 8

1. Абовский Н.П. Творчество: системный подход, законы развития, принятие решений. Москва: СИНТЕГ, 1998.

2. Айламазян А.К., Стась Е.В. Информатика и теория развития. Москва: Наука, 1989.

3. Акофф Р. Искусство решения проблем. Москва: Мир, 1982.

4. Акофф Р., Эмери Ф. О целеустремленных системах. Москва : Советское радио, 1974.

5. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Я. Компьютерная поддержка изобретательства (методы, системы, примеры применения). Москва : Машиностроение, 1998.

6. Андрейчикова О.Н. Новый подход к проблеме коллективного выбора на базе удовлетворения взаимных требований сторон. *Программные продукты и системы*. 2001. №3.

7. Анохин П.К. Теория функциональной системы. *Успехи физиологических наук*. 1970. №1.

8. Бергаланфи Л. Общая теория систем: Критический обзор. Исследования по общей теории систем. Москва : Прогресс, 1969.
9. Бриллиуэн Л. Научная неопределенность и информация. Москва : Мир, 1966.
10. Вукатова И.Л., Михасев Ю.К., Шаров А.М. Эвоинформатика: теория и практика эволюционного моделирования. Москва : Наука, 1991.
11. Гейн К., Сарсон Т. Системный структурный анализ: средства и методы. Москва: Эйтекс, 1992.
12. Дружинин В.В., Канторов Д.С. Системотехника. Москва: Радио и связь, 1985.
13. Емельянов В.В., Ясиновский С.И. Введение в интеллектуальное имитационное моделирование сложных дискретных систем и процессов. Язык РДО. Москва : АНВИК, 1998.
14. Ивахненко А.Г. Непрерывность и дискретность. Киев: Наукова думка, 1990.
15. Кандрашина Е.Ю. Средства представления темпоральной информации в базах знаний. *Изв. АН СССР. Техническая кибернетика*. 1984. №5.
16. Каргашев В.А. Система систем. Очерки общей теории и методологии. Москва : ПрогрессАкадемия, 1995.
17. Клир Док. Системология. Автоматизация решения системных задач. Москва : Радио и связь, 1990.
18. Логический подход к искусственному интеллекту. От классической логики к логическому программированию. Москва : Мир, 1990.
19. Максимей И.В. Имитационное моделирование на ЭВМ. Москва : Радио и связь, 1988.
20. Матвеевский С.Ф. Основы системного проектирования комплексов летательных аппаратов. Москва : Машиностроение, 1987.
21. Месарович М., Тахакара Я. Общая теория систем: математические основы. Москва: Мир, 1978.
22. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения / пер. с англ. / под ред. Р. Р. Ягера. Москва: Радио и связь, 1986.
23. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования. Москва: Издво МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000.
24. Осипов Г.С. Динамика в системах, основанных на знаниях. *Изв. РАН. Сер. Теория и системы управления*. 1998. №5.
25. Острейковский В.А. Теория систем. Москва : Высшая школа, 1997.
26. Половинкина А. И. Основы инженерного творчества. Москва : Машиностроение, 1988.
27. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика. Москва : Наука, 1986.
28. Построение современных систем автоматизированного проектирования / под ред. К.Д. Жука. Киев: Наукова думка, 1983.
29. Пригожин К., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. Москва : Прогресс, 1986.

30. Прангишвили И.В. Основные системные законы управления сложными системами различной природы в кризисной ситуации. *Приборы и системы управления*. 1997. №2.
31. Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. Москва : СИНТНГ, 2000.
32. Санталайнен Т. и др. Управление по результатам. Москва : Прогресс, 1993.
33. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. Москва : Высшая школа, 1985.
34. Статические и динамические экспертные системы: учеб. пособие. Э. В. Попов и др. Москва : Финансы и статистика, 1996.
35. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. Москва : СИНТЕГ, 1998.
36. Фогель Л., Оуэнс А, Уолш М. Искусственный интеллект и эволюционное моделирование. Москва : Мир, 1969.
37. Форрестер Дж. Мировая динамика. Москва : Наука, 1978.
38. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия. Москва : Прогресс, 1971.
39. Хакен Т. Информация и самоорганизация: Макроскопический подход к сложным системам. Москва : Наука, 1991.
40. Хубка В. Теория технических систем. Москва : Мир, 1987.
41. Цымбал Л.А. Синергетика информационных процессов. Москва : Наука, 1995.
42. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. Москва: Изд-во иностр. лит., 1959.
43. Analytical Power Tools. 1998. №2.
44. Султанов, Н.З., Любимов, И.И., Ныров, Г.К. К вопросу повышения эффективности функционирования автотранспортного предприятия с использованием программноцелевого планирования и выбора рациональной структуры парка. *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2006. №10. С. 422-428.
45. Витвицкий, Е.Е., Трофимова, Л.С. Подход к определению текущей деятельности автотранспортного предприятия с учётом практики функционирования подвижного состава. *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2014. № 10 (171). С. 30-35.
46. Трофимова Л.С., Певнев Н.Г. Структура методологии текущего планирования работы грузового автотранспортного предприятия. *Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии*. 2017. № 6 (58). С. 63-71.
47. Трофимова Л.С., Певнев Н.Г. Математическая модель функционирования автотранспортного предприятия при перевозке грузов в междугородном сообщении для текущего планирования. *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2018. № 22 (4 (135)). С. 243-252

48. Трофимова Л.С., Бородулина С.А. Моделирование спроса на автомобильные перевозки грузов. *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2017. № 21 (10 (129)). С. 195-205.

49. Заиченко, С., Рудь, В., Кузнецова, Т. Особенности взаимодействия российских предприятий и научных организаций в инновационной сфере. *Форсайт*. 2014. № 8 (1). С. 6-22.

50. Желнина Е.В. Технология в структуре факторов инновационной активности промышленных предприятий. *Карельский научный журнал*. 2016. № 5 (4 (17)). С. 238-241.

51. Губанова, С.Е. Инструменты и методы менеджмента и их практическая реализация для повышения конкурентоспособности промышленных предприятий. *Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева*. 2014. № 4 (32). С. 45-50.

52. Федоськина Л.А. Анализ проблем управления качеством поставок в сбытовой сети автомобильной компании. *Экономический анализ: теория и практика*. 2013. 2 (305). С. 37-42.

53. Каточков В.М., Зуева О.Н., Топоркова Е.В. Инновационные технологии в развитии логистической системы производства. *Вестник Удмуртского университета. Сер. Экономика и право*. 2019. № 29 (5). С. 574-578.

54. Минко И.С., & Кряков П.Н. Организация информационных потоков в инновационной деятельности. *Научный журнал НИУ ИТМО. Сер. Экономика и экологический менеджмент*. 2014. №1. С. 50-62.

55. Кашбразиев Р.В., Буреин Р.А. Графоаналитический метод оценки транспортнологистического обеспечения международной экономической кооперации. *Вестник экономики, права и социологии*. 2013. №3. С. 57-61.

56. Бережная Л.Ю. К вопросу о применении коэффициента обеспеченности регионов транспортной инфраструктурой (на примере ПФО). *Азимут научных исследований: экономика и управление*. 2018. № 7 (3 (24)). С. 39-42.

57. Курилов К.Ю. Применение программы обратного выкупа на предприятиях автомобильной промышленности. *Карельский научный журнал*. 2014. № 2 (7). С. 57-60.

58. Федоськина Л.А. Анализ проблем управления качеством поставок в сбытовой сети автомобильной компании. *Экономический анализ: теория и практика*. 2013. № 2 (305). С. 37-42.

59. Ветров, А.С., Абушаева, Э.Т. Сравнительный анализ сервисного обслуживания автомобилей в авторизованных дилерских центрах. *Вестник Саратовского государственного социальноэкономического университета*. 2014. № 1. С. 36-39.

60. Федоськина Л.А. Фирменные дилерские центры в системе утилизации автомобилей. *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. 2013. № 37. С. 54-62.

61. Осепская, А.О. Практика организации сервисной деятельности на предприятиях автосервиса. *ЭКОНОМИНФО*. 2009. № 12. С. 33-35.

62. Шубенкова К.А., Николаев Т.А., Шепелев В.Д., Тюрин Н.А. Повышение эффективности процессов в дилерско-сервисных центрах с помощью технологии Digital Twin. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Экономика и менеджмент*. 2018. № 12 (3). С. 176-182.

63. Варламов О.О., Адамова Л.Е., Назаров К.В., Сараев Д.В., Джха П., Варламова И. А. Миварные экспертные системы для сопровождения производственных процессов на транспорте. *ТСотт Телекоммуникации и Транспорт*. 2017. № 11 (5). С. 53-59.

64. Аулін В.В., Солових А.Є. Методологічні аспекти застосування математичних методів і моделей в економіці. *Наукові праці КДТУ. Екон. науки*. 2000. Вип.8. С.147-150.

65. Аулін В.В., Солових А.Є., Дігтяр Б. Економікоматематичне модулювання процесів управління підприємством в умовах господарського ризику і невизначеності. *Наук. праці КДТУ. Екон. науки*. 2000. Вип.8. С.151-156.

66. Аулін В.В., Івашук В.О., Каськов В.С. Моделювання системи рейтингового управління. *Теорія і практика перебудови економіки*. 2000. С.107-109.

67. Аулін В.В., Івашук В.О., Тендюк А.В. Моделювання процесів регіональної економіки. *Теорія і практика перебудови економіки*. 2000. С.109-111.

68. Аулін В.В., Солових А.Є. Проблеми регіональної інвестиційної стратегії та моделювання процесів її формування. *Теорія і практика перебудови економіки*. 2000. С.111-113.

69. Аулін В.В., Івашук В.О., Тендюк А.В. Використання економікоматематичного моделювання та інформаційних технологій для забезпечення ефективного управління регіональної економіки : наук.метод. зб. Одеса, 2001. Вип.7. С.236-239.

70. Аулін В.В., Кулешков Ю.В., Павлюк Мороз В.А., Соловський В.С. Загальна методика досліджень в технічних та природничих науках. *Проблеми трибології (Problems of tribology)*. 2002. №1. С.186-196.

71. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Сидоренко І.В., Лукашук І.П. Обґрунтування різного типу перешкод розвитку міжнародних автомобільних перевезень на їх економічну ефективність. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability"*, 15-17 квітня 2020 р. Кропивницький: ЦНТУ. 2020. С 266-267.

72. Аулін В.В., Панков А.О., Гриньків А.В., Лівіцький О.М., Щеглов А.В. Автоматизація робочих процесів засобів механізації застосуванням розподілених систем управління. *Матеріали XXI Міжнародної наукової конференції „Сучасні проблеми землеробської механіки”*. Харків: ХНТУСГ, 2020. – С.18-19.

73. Аулін В.В., Жулай О.Ю., Крисенко А.Ф., Лисенко С.В. Рівні отримання інформації про технічний стан двигунів в системі діагностичного

моніторингу. *Збірник наук. праць Луганського нац. аграр. університету. Сер. Технічні науки*. Луганськ: ЛНАУ, 2006. №.65(88). С.21-28.

74. Аулін В.В., Дігтяр Б.С., Цвігун Н.М. Використання математичного моделювання для оцінки ефективності функціонування фінансового механізму. *Наукові записки. Сер. Математичні науки*. 2006. Вип. 65. С.8-17.

75. Аулін В.В., Жулай О.Ю., Бобрицький В.М. Теоретичні основи діагностичного моніторингу і системи керування технічним станом мобільної сільськогосподарської техніки. *Праці Таврійської держ. агротехн. академії*. 2006. Вип.39. С.43-54.

76. Аулін В.В., Голуб Д.В. Стан структури та основні напрямки розвитку пасажирського транспорту загального користування в м. Кіровограді. *Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2007р. Вип. 18. С.288-291.

77. Аулін В.В., Жулай О.Ю., Лівіцький О.М. Транспортні засоби в агропромисловому комплексі та система діагностичного моніторингу їх технічного стану. *Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин*. 2007р. Вип.37. С. 146-154.

78. Аулін В.В., Голуб Д.В. Аналіз системи перевезення пасажирів у містах, основні тенденції її розвитку і шляхи удосконалення. 2007. 2 т., ч. 2. С. 279-284.

79. Аулін В.В., Голуб Д.В. Основні напрямки розвитку пасажирського транспорту в м. Кіровограді. *Підвищення надійності машин і обладнання: матеріали Всеукр. конф.*, 19 квітня 2007 р. Кіровоград: КНТУ. С. 36-38.

80. Аулін В.В., Голуб Д.В. Алгоритм визначення основних показників процесу перевезень міського транспорту з переважанням приватного транспорту. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Дала*. 2007. Ч. 2. №7(125). С. 71-75.

81. Аулін В.В., Голуб Д.В., Жулай О.Ю., Панчул С.О. Практична реалізація рівнів отримання інформації в системі діагностичного моніторингу технічного стану двигунів транспортних засобів у с/г виробництві. *Актуальні проблеми та наукові звершення молоді на початку третього тисячоліття: матеріали I Всеукр. наук. конф.*, 12-14 листопада 2008р. Луганськ: Елтон 2, 2008. С. 254 - 257.

82. Аулін В.В., Чайковський О.Б., Голуб Д.В. Поетапний метод математичного моделювання процесів міських перевезень. *Підвищення надійності машин і обладнання: матеріали Всеукр. студ. наук.практ. конф.* 10 квітня 2008 р. Кіровоград: КНТУ, 2008. С. 119-122.

83. Аулін В.В., Голуб Д.В. Розробка математичної моделі пасажиропотоку з мінімізацією сумарного пробігу порожніх місць ЗМПТ. *Підвищення надійності машин і обладнання: матеріали III Всеукр. студ. наук.практ. конф.*, 15 квітня 2009 р. Кіровоград : КНТУ, 2009. С. 136-139.

84. Аулін В.В., Лисенко С.В., Онолов М.В., Панчул С.О., Слонь В.В. Автоматичне керування процесом зношування деталей ДВЗ реалізацією процесу самоорганізації. *Молодежь и с/х техника в XXI веке: материалы V-го междунар. форума молодежи*. Харьков: ХНТУСХ. 2009. С. 6-7.

85. Аулін В.В. Самоорганізація на основі нерівноважених процесів в трибо системах. *Ольвійський форум 2009": Стратегії України в геополітичному просторі*: зб. матеріалів доп. учасн. міжнар. наук. –практ. конф. Миколаїв: ЧДУ, 2009.С. 61-62.

86. Аулін В.В. Фізичні основи явищ самоорганізації і облітерації мастильних середовищах в зазорах трибосполучень деталей. *Проблеми трибології (Problems of tribology)*. 2009. №4. С.103-111.

87. Аулін В.В., Лівіцький О.М. Інформаційне забезпечення в системі технічного сервісу, діагностичного моніторингу та охорони праці в с/г виробництві. *Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин*. 2009р. Вип.39. С. 287-291.

88. Аулін В.В., Загальні закономірності еволюції та самоорганізації в трибо системах. *Сучасні проблеми трибології*: матеріали Міжнар. наук.техн. конф., 19-21 травня 2010 р. Київ: ІВЦ АЛКОН НАН України, 2010. С. 94.

89. Аулін В.В., Замота О.М. Вплив системи технічного обслуговування і ремонту автомобілів на собівартість вантажних перевезень *Економічні науки*. 2010р. Вип. 17. С.308-315.

90. Аулін В.В., Голуб Д.В. Поліпшення управління процесами міських пасажирських перевезень на базі впровадження логістичної системи головного маршруту на прикладі м. Кіровограда. *Логістика промислових регіонів*: матеріали третьої Міжн. наук.практ. конф., 6-9 квітня 2011 р. Донецьк: ЛАНДОН XXI, 2011. С. 19-23.

91. Аулін В.В., Замота О.М., Замота Т.М. Підвищення рентабельності транспортного процесу в реальних умовах експлуатації. *Логістика промислових регіонів*: матеріали третьої Міжн. наук.практ. конф., 6-9 квітня 2011 р. Донецьк: ЛАНДОН XXI, 2011. С. 323-326.

92. Аулін В.В., Жулай О.Ю. Інформаційне забезпечення зміни технічного стану дизелів засобів транспорту. *Вісник інженерної академії України*. 2011. №1. С. 166-172.

93. Аулін В.В. Фізичні основи еволюції станів трибосистем та процесів самоорганізації їх елементів. *Ольвійський форум 2011" Секція "Трибологія, ресурсо та енергозбереження*: зб. матеріалів доп. учасн.міжнар. наук. практ. конф. Ялта, 2011. С.14-15.

94. Аулін В.В., Шевченко І.А. Новий підхід до організації та технології вантажних комплексних перевезень. Матеріали XLV наук. конф. 19 травня 2011 року. Кіровоград: КНТУ, 2011. С. 970-971.

95. Аулін В.В., Яхниця Ю.В. Системне формування технологій автомобільних перевезень за критеріями енерго і ресурсовіддачі. Матеріали XLV наук. конф. 19 травня 2011 року. Кіровоград: КНТУ, 2011. С. 989-990.

96. Аулін В.В., Голуб Д.В. Оцінка якості міських пасажирських перевезень в ринкових умовах. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту*: зб. матеріалів доп. учасн. IV Міжнар. наук.практ. конф. Вінниця: ВНТУ, 2011. С. 10-11.

97. Аулін В.В., Основні синергетичні компоненти прояву різних форм самоорганізації в триботехнічних системах *Ольвійський форум 2011" Секція*

"Трибологія, ресурсо та енергозбереження": зб. матеріалів доп. учасн. міжнар. наук. практ. конф. Ялта, 2011. С.60-62.

98. Аулін В.В., Голуб Д.В. Формалізація співвідношень між попитом і пропозицією в проблемі підвищення якості на міські пасажирські перевезення в ринкових умовах. *Транспорт і логістика*: матеріали III Всеукр. наук. практ. конф., 26-27 вересня 2012 р. Донецьк: ДААТ, 2012. С. 189-192.

99. Аулін В.В., Динамічна адаптація спряжень деталей до умов експлуатації з реалізацією процесів самоорганізації. *Актуальні проблеми інж. механіки*: матеріали II міжнар. наук.-техн. конф., 22-24 жовтня 2012р. Миколаїв: НУК, 2012. С 73-74.

100. Аулін В.В., Голуб Д.В. Диференціальна та інтегральна оцінка рівня якості транспортного обслуговування пасажирів в ринкових умовах. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля*. 2012. Ч 1. №9(180). С. 225-232.

101. Аулін В.В., Стан самоорганізації середовища ґрунту та закономірності зносу робочих органів ґрунтообробних машин. *Проблеми трибології (Problems of tribology)*. 2013. №. С.114-119.

102. Аулін В.В., Щербіна С.Ф., Голуб Д.В. Забезпечення належного рівня якості транспортного обслуговування пасажирів в сучасних умовах функціонування транспортних систем міст. Матеріали XLVII наук. конф. 18 квітня 2013 року. Кіровоград: КНТУ, 2013. С. 25-27.

103. Аулін В.В., Голуб Д.В. Вплив характеристик транспортного процесу на якість обслуговування пасажирів в сучасних умовах функціонування транспортних систем. *Проблеми розвитку транспортних систем і логістики*: матеріали IV-ої Міжнар. наук. практ. конф., 14-16 травня 2013 р. Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2013. С. 49-50.

104. Аулін В.В., Лисенко С.В., Панарін Д.Є. Удосконалення процесу технічного обслуговування автомобілів, використанням сучасних електронних методів діагностики. *Вісник інж. академії України*. 2013. №34. С. 151-157.

105. Аулін В.В., Лисенко С.В. Комп'ютерні системи підтримки прийняття рішень по вибору технологій зміцнення робочих поверхонь деталей машин і обладнання. *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК2014)*: матеріали сьомої Міжнар. наук. практ. конф., 19-20 травня 2014 р. Київ : НАУ, 2014. С. 280-282.

106. Аулін В.В., Фізичні основи процесів і станів самоорганізації в триботехнічних системах: монографія. Кіровоград: Лисенко В.Ф., 2014. 370 с.

107. Аулін В.В., Методологія розв'язання проблеми підвищення зносостійкості деталей і робочих органів сільськогосподарської техніки. *Вісник ЖНАЕУ*. 2014. Вип. № 2 (45), т.4, ч.ІІ. С. 80-91.

108. Аулін В.В., Голуб Д.В., Плохов І.О. Підвищення ефективності використання рухомого складу при перевезенні пасажирів. Матеріали XLVI наук. конф., 16 квітня 2015 року. Кіровоград : КНТУ, 2015. С. 45.

109. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Інформаційні аспекти діагностування агрегатів транспортних засобів. *Інтегровані інтелектуальні*

робототехнічні комплекси (ПРТК2015): зб. матеріалів доп. учасн. Восьмої міжнародної науково-практичної конф. Київ : НАУ, 2015. С. 58-60.

110. Аулин В.В., Бичевой И.В., Лысенко С.В., Голуб Д.В. Метод получения диагностической информации о состоянии ЭС в период между техническими обслуживаниями для уточнения регламентов ТО. *Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: Эксплуатация и развитие автомобильного транспорта [Текст]*: материалы X междунар. заочн. науч.техн. конф., 15 мая 2015 г. Пенза: ПГУАС, 2015. С. 21-27.

111. Аулин В.В., Гриньків А.В., Лысенко С.В. Связь информационной энтропии с показателями надежности агрегатов и транспортных средств. *Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: Эксплуатация и развитие автомобильного транспорта [Текст]*: материалы X междунар. заочн. науч.техн. конф., 15 мая 2015 г. Пенза: ПГУАС, 2015. С. 3-944.

112. Економічний аналіз: навч. посіб. / Аулін В.В. та ін. Кіровоград. 2015. 142 с.

113. Аулін В.В., Голуб Д.В. Надійність функціонування транспортної системи як чинник підвищення ефективності економіки країни. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали VIII міжн. наук.практ. конф., 19-21 жовтня 2015 р. Вінниця: ВНТУ, 2015. С. 13-16.

114. Аулін В.В., Зеленський О.В., Голуб Д.В. Використання інформаційних технологій при розв'язанні проблеми удосконалення організації пасажирських перевезень автомобільним транспортом. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали VIII міжн. наук.практ. конф., 19-21 жовтня 2015 р. Вінниця: ВНТУ, 2015. С. 22-24.

115. Аулін В.В., Гриньків А.В., Замота Т.М. Забезпечення та підвищення експлуатаційної надійності транспортних засобів на основі використання методів теорії чутливості. *Вісник інж. академії України*. 2015. №3. С. 66-72.

116. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Замота О.М. Методологія вибору та управління ефективністю використання техніки у сільськогосподарському виробництві. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2016. Вип. 29. С.2-12.

117. Аулин В.В., Гриньків А. Использование теоретикоинформационного подхода для анализа технического состояния топливной системы автомобилей. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2016. Vol.18. No.2. P. 63-68.

118. Аулин В.В., Ливицкий А., Замота О., Гриньків А. Повышение эффективности использования мобильной сельскохозяйственной техники на предприятиях АПК. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2016. Vol.18. No.2. P. 117-122.

119. Аулін В.В., Гриньків А.В. Проблеми і задачі ефективності системи технічної експлуатації мобільної сільськогосподарської та

автотранспортної техніки. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Сер. технічні науки*. 2016. №2 (77). С.36-41.

120. Аулін В.В., Черновол М.І., Панков А.О. Напрями розвитку висівних систем. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2016. Вип. №3 (102). С.54-58.

121. Аулін В.В., Зв'язок форм авторегулювання (квазікерування) і властивостей ТТС в синергетиці підвищення їх надійності. *Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій: матеріали IV-ої міжнар. інтернет-конф.*, 11.11.2016 р. Вінниця: ВНТУ, 2016. С.11-12.

122. Аулін В.В., Гриньків А.В. Теоретичне обґрунтування моментів контролю технічного стану систем і агрегатів засобів транспорту / *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. – 2017. – №8. – С. 920.

123. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем / Аулін В.В. та ін.: монографія / за заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. Кропивницький: ТОВ "КОД", 2017. 370 с.

124. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Виявлення основних проблем сфери нормативного регулювання напрямків забезпечення та підвищення надійності автомобільних транспортних систем в Україні. *Підвищення надійності машин і обладнання: зб. матеріалів доп. учасн. XI Всеукраїнської науково-практичної конф.* Кропивницький: ЦНТУ, 2017. С. 24-26.

125. Аулін В.В., Біліченко В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О. Дослідження шляхів і сукупності факторів забезпечення належного рівня ефективності і надійності транспортних систем. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали X міжнародної науково-практичної конф.*, 23-25 жовтня 2017 р. Вінниця: ВНТУ, 2017. С.21-24.

126. Аулін В.В., Біліченко В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О. Методологія підходів до дослідження шляхів і сукупності факторів забезпечення належного рівня ефективності і надійності транспортних систем. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2017. №2. С. 4-14.

127. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологія визначення основних експлуатаційних властивостей та якості функціонування транспортних і технічних систем. *Вісник інж. академії України*. 2017. №2. С.110-115.

128. Аулін В.В., Панков А.А. Эволюционное вычисление жизненного цикла технических средств на основе генетических алгоритмов. *Вісник інж. академії України*. 2017. №2. С.116-119.

129. Аулін В.В., Гриньків А.В. Прогнозування технічного стану систем і агрегатів засобів транспорту на основі класифікації діагностичних часових рядів з пам'яттю. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки: матеріали XI Міжнародної науково-практичної конф.* Кропивницький: ЦНТУ, 2017. С. 4-6.

130. Аулін В.В., Голуб Д.В., Дьяченко В.О. Підвищення ефективності функціонування підприємств сільськогосподарського виробництва на основі логістичного підходу *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки*: матеріали XI Міжнародної науково-практичної конф. Кропивницький: ЦНТУ, 2017. С. 232.

131. Аулін В.В., Гриньків А.В. Реалізація удосконалення стратегії технічної експлуатації засобів транспорту та її технікоекономічна оцінка. *Актуальні задачі сучасних технологій*: зб. матеріалів доп. учасн. Міжнародної науково-технічної конф. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. С.12-13.

132. Аулін В.В., Голуб Д.В. Методи оцінки і аналізу надійності автомобільних транспортних систем. *Актуальні задачі сучасних технологій*: зб. матеріалів доп. учасн. Міжнародної науково-технічної конф. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. С.14-15.

133. Аулін В.В., Замота О.М. Економічна ефективність системи технічного обслуговування і ремонту мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки з елементами прогнозування. *Актуальні задачі сучасних технологій*: зб. матеріалів доп. учасн. Міжнародної науково-технічної конф. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. С.16-17.

134. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічне обґрунтування дослідження та розв'язання проблеми надійності функціонування транспортних систем. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2017. №10. С. 29-36.

135. Аулін В.В., Голуб Д.В. Забезпечення та підвищення надійності транспортних систем і процесів перевезень багатофункціональною роботою їх учасників. *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасн. V Міжнародної науково-технічної конф. Київ : НУБіП України, 2018. С. 107-110.

136. Аулін В.В., Замота О.Н., Ливицький А.Н. Влияние системы технического обслуживания и ремонта на себестоимость грузовых перевозок в сельскохозяйственном производстве *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасн. V Міжнародної науково-технічної конф. Київ : НУБіП України, 2018. С. 112-115.

137. Аулін В.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Підвищення ефективності транспортних систем в АПК на основі логістичного підходу *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасн. V Міжнародної науково-технічної конф. Київ : НУБіП України, 2018. С. 135-138.

138. Аулін В.В., Голуб Д. В., Біліченко В. В. Формування критеріїв ефективності функціонування транспортних систем. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали VI-ої міжнародної науково-практичної інтернет-конф., 12-13 квітня 2018 року. Вінниця: ВНТУ, 2018. С.11-13.

139. Аулін В.В., Замота Т.Н., Замота О.Н., Гриньків А.В. Технікоекономічне обґрунтування переваг інтелектуальної стратегії технічного обслуговування та ремонту легкового автомобіля. *Вісник інж. академії України*. 2017. №4. С.50-56.

140. Аулін В.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Оптимізація і управління ресурсами в транспортнологістичній системі АПК. *Наукові нотатки*. 2018. №62. С.8-11.

141. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Критерії реалізації процесів забезпечення та підвищення надійності і ефективності функціонування транспортних систем. *Наукові нотатки*. 2018. №62. С.12-16.

142. Аулін В.В., Гриньків А.В., Голуб Д.В., Агапоненко М.І. Розробка критерію вдосконалення системи технічної експлуатації засобів транспорту з врахуванням необхідної діагностичної інформації. *Наукові нотатки*. 2018. №62. С.17-20.

143. Аулін В.В., Великодний Д.О. Методи формування системи транспортнотехнологічного забезпечення в АПК. *Транспорт і логістика: проблеми та рішення*: зб. матеріалів доп. учасн. VIII-ї Міжнародної науково-практичної конф., Одеса: КУПРІЄНКО СВ, 2018. С. 15-17.

144. Аулін В.В.. Аналіз напрямів підвищення надійності автомобільних транспортних систем. *Підвищення надійності машин і обладнання*: зб. матеріалів доп. учасн. XII Всеукраїнської науково-практичної конф. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. С. 87-91.

145. Аулін В.В., Голуб Д.В. Можливі методи вирішення проблеми підвищення надійності та ефективності функціонування транспортних систем, підсистем та їх елементів. *Підвищення надійності машин і обладнання*: зб. матеріалів доп. учасн. XII Всеукраїнської науково-практичної конф. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. С. 161-164.

146. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Удосконалення системи транспортного обслуговування підприємств агропромислового виробництва. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2017. Вип. 47, ч.ІІ. С. 3-10.

147. Viktor Aulin, Denis Velykodnyi, Viktoriya Dyachenko Concept of development and formation of transportlogistic systems in the agroindustrial complex. *Modern Management: Logistics and Education. Monograph*. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2018. P.165-169.

148. Аулін В.В., Замота Т. М., Гриньків А. В., Замота О. М., Чернай А. Е. Преимущества интеллектуальной стратегии технической эксплуатации с точки зрения экономической эффективности. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2018. Вип. 192. С. 29-40.

149. Аулін В.В., Голуб Д.В., Біліченко В.В. Методологічний підхід до визначення рівня якості функціонування транспортних систем. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2018. №1(7). С. 4-9.

150. Аулін В.В., Голуб Д.В. Методичні аспекти кількісної, якісної та часової оцінки параметрів надійності функціонування транспортних систем.

Вісник Житомирського державного технологічного університету Сер.: Технічні науки. 2018. № 2 (82). С.3-10.

151. Аулін В.В., Голуб Д.В., Луценко А.С. Математичний апарат оцінки надійності багатофункціональних транспортних систем. *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту*: зб. наук. матеріалів міжнародної науково-практичної інтернет-конф. Кропивницький : ЦНТУ, 2018. С.33-41.

152. Аулін В.В., Панков А.А. Автоматизация и информатизация транспортных средств на основе распределенной системы управления с интеллектуальными мехатронными модулями. *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту*: зб. наук. матеріалів міжнародної науково-практичної інтернет-конф. Кропивницький : ЦНТУ, 2018. С.97-100.

153. Аулін В.В., Головатий А.О. Вплив виробничо-технічної бази автотранспортного підприємства на ефективність його роботи та використання парку машин. *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту*: зб. наук. матеріалів міжнародної науково-практичної інтернет-конф. Кропивницький : ЦНТУ, 2018. С.201-206.

154. Аулін В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О. Підвищення надійності процесу перевезень в транспортних системах різними способами структурного резервування. *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасників VI Міжнародної науково-технічної конф. Київ : НУБіП, 2019. С. 68-71.

155. Аулін В.В., Гриньків А.В. Вирішення проблеми підвищення експлуатаційної надійності з використання елементів інформаційних технологій. *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасників VI Міжнародної науково-технічної конф. Київ : НУБіП, 2019. С. 91-94.

156. Аулін В.В., Лисенко С.В., Гриньків А.В., Чернай А.Е., Лукашук А.П. Системноспрямований підхід до розробки технологій безрозбірного відновлення спряжень деталей. *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасників VI Міжнародної науково-технічної конф. Київ : НУБіП, 2019. С. 94-96.

157. Аулін В.В., Панков А.О., Замота Т.М. Аналіз критеріїв ефективності роботи засобів механізації на основі розмірностей фізичних величин. *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасників VI Міжнародної науково-технічної конф. Київ : НУБіП, 2019. С. 186-189.

158. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Голуб Д.В. Синергетика підвищення надійності машин використанням моделей марківських процесів. *Перспективи і тенденції розвитку конструкції та технічного сервісу сх машин і знарядь*: зб. матеріалів V Всеукраїнської науково-практичної конф. Житомир: Житомирський агротехнічний коледж, 2019. С. 242-245.

159. Аулін В.В., Лисенко С.В., Жилова І.В., Вербицький О.В. Синергетичне підвищення надійності трибоспряжень деталей систем і

агрегатів транспортних машин. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability*: матеріали 1-ої Міжнародної науково-практичної конф., 17-19 квітня 2019 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2019. С.78.

160. Аулін В.В., Великодний Д.О. Моделювання ланцюга постачання в транспортнологістичній системі. *Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання*: матеріали 3-ї Всеукр. наук.теорет. конф., 28-30 березня 2019 р. Дрогобич.: Посвіт, 2019. С.68-69.

161. Аулін В.В., Голуб Д.В. Забезпечення ефективності функціонування транспортних систем шляхом підвищення надійності структурнофункціональних резервних схем процесу доставки. *Наука - виробництво 2019*: зб. матеріалів доп. учасн. І наукової конф. Кропивницький: ЦНТУ, 2019. С. 17-20.

162. Аулін В.В., Великодний Д. О., Тирса Я. В., Кабак В. Д. Оцінка ефективності функціонування міського пасажирського транспорту з урахуванням вибору маршруту пасажиром. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали VIII-ої міжн. наук.практичної інтернет-конф., 14-15 квітня 2020 р. Вінниця: ВНТУ, 2020. С.15-16

163. Аулін В.В., Голуб Д. В., Біліченко В. В., Замуренко А. С. Принципи самоорганізації автомобільних транспортних. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали VIII-ої міжн. наук.практичної інтернет-конф., 14-15 квітня 2020 р. Вінниця: ВНТУ, 2020. С.17-19.

164. Аулін В.В., Гриньків А В., Головатий А.О. Системна концепція аналізу автотранспортної техніки та зміни її технічного стану підчас експлуатації. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали VIII-ої міжн. наук.практичної інтернет-конф., 14-15 квітня 2020 р. Вінниця: ВНТУ, 2020. С.20-22.

165. Аулін В.В., Гриньків А., Головатий А Рівні завдань та структура функціонування системи технічного сервісу транспортних машин. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем*: матеріали II Міжн. науково-технічної інтернет-конф., 25-27 березня 2020 р. Рівне : НУВГП, 2020. С. 123-125.

166. Аулін В.В., Голуб Д.В., Біліченко В.В., Замуренко А.С. Формування показників оцінки ефективності транспортного процесу перевезень. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2020. №1(11). С.5-10.

167. Аулін В.В., Лисенко С.В., Гриньків А.В. Модель надійності деталей транспортних машин за процесами реалізації триботехнологій їх припрацювання і відновлення. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2019. Вип. 2(33). С.50-64.

168. Аулін В.В., Замота Т.Н., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Крупица О.В., Панайотов К.К. Обоснование использования современных подходов для усовершенствования диагностирования систем и агрегатов автомобиля. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2019. Вип. 2(33). С.65-75.

169. Аулін В.В., Гриньків А.В., Кіберфізичний підхід в дослідження стану технічних систем. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability: матеріали Міжнародної науково-практичної конф.*, 15-17 квітня 2020 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2020. С.168-169.

Список використаних джерел до розділу 9

1. Власов, А. А. Теория транспортных потоков: монография. Пенза: ПГУАС, 2014, 124 с.
2. Церковний, О. Розвиток інтелектуальних транспортних систем у великих містах. *Економічна та соціальна географія*. 2012. № 64, С. 253-259.
3. Катерна О.К. Цільові групи користувачів послуг інтелектуальних транспортних систем. *Економічний аналіз*. 2018, № 28 (2). С. 155-160.
4. Жанказиев, С.В., Воробьев, А.И. Структура телематической системы контроля за дорожной обстановкой. *Средства и технологии телематики на автомобильном транспорте*. 2008. С. 177-187.
5. Жанказиев С.В., Воробьев А.И., Багно А.В. Формирование принципов определения оптимального расстояния от информационных дорожных знаков до сегментов улично-дорожной сети. *Средства и технологии телематики на автомобильном транспорте*. 2008. С. 233-241.
6. Клинковштейн Г.И., Афанасьев М.Б. Организация дорожного движения: монография. Москва: Транспорт, 2001, 247 с.
7. Комашинский В.И., Смирнов Д.А. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи: монография. Москва : Горячая линия - Телеком, 2003. 94 с.
8. Сопільник, Л. І. До питання про основні принципи організації дорожнього руху. *Наукові записки Львівського університету бізнесу та права*. 2011. № 6. С. 95-100.
9. Ніконов, О. Я., Алексієв, В. О., Улько, В. Ю., Середіна, Г. І. Розроблення та впровадження інтернеттехнологій для підвищення ефективності використання транспортних засобів. *Вісник СевНТУ. Сер.: Машиноприладобудування та транспорт*. 2013. № 142. С. 69-72.
10. Гладун, Ю. Я. Побудова автоматизованої інформаційноаналітичної системи "безпечне місто". *Ефективність державного управління*. 2012. № 32. С. 277-283.
11. Чередніченко, П. П. Організація і безпека міського руху. *Містобудування та територіальне планування*. 2016. № 60. С. 346-350.
12. Кутузов, А. Є. Концепція програм розвитку автомобільних доріг державного та місцевого значення регіону України. *Вісник Національного транспортного університету*. 2015. № 31. С. 300-308.
13. Медведев, В.С., Потемкин, В.Г. Нейронные сети. MATLAB 6: монография. Москва: ДИАЛОГМИФИ, 2002. 496 с.
14. Рудзінський, В. В., Мельничук, С. В. Особливості підготовки фахівців за напрямком інтелектуальні транспортні системи. *Вісник ЖДТУ*.

Сер. Технічні науки. 2012. № 2(3(62)). С. 165-168.

15. Пржибыл П. Свитек М. Телематика на транспорте / пер. с чешск. / под ред. проф. В.В. Сильянова. Москва, 2003. 540 с.

16. Толок, О. В., Мастепан, О. В. Напрямки удосконалення вибіркового методу обстеження інтенсивності руху транспорту на мережі міських вулиць і доріг. *Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта*. 2011. № 4. С. 28-35.

17. Пасічник, А. М., Мальнов, В. С., Клен, О. М. Дослідження пропускну́ї здатності української мережі міжнародних автомобільних транспортних коридорів. *Вісник Академії митної служби України. Сер. Технічні науки*. 2012. № 1. С. 28-36.

18. Уткин, А.В. Моделирование поведения водителя и оценка качества смешанного транспортного потока. *Организация и безопасность движения в крупных городах: сб. материалов 7-й Международной конференции*. С.Петербург, 2006. С. 84–86.

19. Зайко, Т. А., Корнієнко С. К. Автоматизована система обробки інформаційних потоків торговельного центру. *Вісник ЖДТУ. Сер. Технічні науки*. 2010. № 1 (52). С. 91-95.

20. Додух, К. М., & Шостак, С. М. Інформаційне забезпечення водіїв в складних дорожніх умовах. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2013. № 90. С. 218-221.

21. Кужель, В. П. Методика налаштування моделі визначення дальності видимості дорожніх об'єктів в темну пору доби. *Вісник національного технічного університету "ХПИ"*. 2013. № 30. С. 127-133.

22. Ewing, R., Schieber, R. A., & Zegeer, C. V. Urban sprawl as a risk factor in motor vehicle occupant and pedestrian fatalities. *American journal of public health*. 2003. 93(9). P. 1541-1545.

23. Van der Vorst, J. G. van Kooten, O., Luning, P. A. Towards a diagnostic instrument to identify improvement opportunities for quality controlled logistics in agrifood supply chain networks. *International journal on food system dynamics*. 2011. № 2(1). С. 94-105.

24. Basu, A., Lin, A., & Ramanathan, S.. Routing using potentials: a dynamic trafficaware routing algorithm. *technologies, architectures, and protocols for computer communications: in Proceedings of the 2003 conference on Applications*. 2003. P. 37-48.

25. Man, Z., Wu, H. R., Liu, S., & Yu, X. A new adaptive backpropagation algorithm based on Lyapunov stability theory for neural networks. *IEEE Transactions on Neural Networks*. 2006. № 17(6). P. 1580-1591.

26. Chen, D., Wang, W., & Jiang, T. New Multicarrier Modulation for SatelliteGround Transmission in Space Information Networks. *IEEE Network*. 2019. № 34 (1). P. 101-107.

27. Rasmussen, T. K., Watling, D. P., Prato, C. G., Nielsen, O. A. Stochastic user equilibrium with equilibrated choice sets: Part II–Solving the restricted SUE for the logit family. *Transportation Research Part B: Methodological*. 2015. № 77. P. 146-165.

28. Boyd, S., Boyd, S. P., & Vandenberghe, L. Convex optimization. Cambridge university press. 2004. P. 179.

29. Аулін В.В., Солових А.Є., Дігтяр Б. Економікоматематичне модулювання процесів управління підприємством в умовах господарського ризику і невизначеності. *Наук. праці КДТУ. Екон. науки*. 2000. Вип.8. С.151-156.

30. Аулін В.В., Голуб Д.В. Стан структури та основні напрямки розвитку пасажирського транспорту загального користування в м.Кіровограді. "Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування

31. Аулін В.В., Жулай О.Ю., Лівіцький О.М. Транспортні засоби в агропромисловому комплексі та система діагностичного моніторингу їх технічного стану. *Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин*. 2007р. Вип.37. С. 146-154.

32. Аулін В.В., Голуб Д.В. Аналіз системи перевезення пасажирів у містах, основні тенденції її розвитку і шляхи удосконалення. *Вісник НТУ*. 2007. 2 т., ч. 2. С. 279-284.

33. Аулін В.В., Голуб Д.В. Основні напрямки розвитку пасажирського транспорту в м. Кіровограді. *Підвищення надійності машин і обладнання: матеріали Всеукр. конф.*, 19 квітня 2007 р. Кіровоград: КНТУ. С. 36-38.

34. Аулін В.В., Голуб Д.В. Алгоритм визначення основних показників процесу перевезень міського транспорту з переважанням приватного транспорту. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Дала. Частина 2*. 2007. №7(125) С. 71-75.

35. Аулін В.В., Чайковський О.Б., Голуб Д.В. Поетапний метод математичного моделювання процесів міських перевезень. *Підвищення надійності машин і обладнання: матеріали Всеукр. студ. наук.практ. конф.*, 10 квітня 2008 р. Кіровоград: КНТУ, 2008. С. 119-122.

36. Аулін В.В., Голуб Д.В. Розробка математичної моделі пасажиропотоку з мінімізацією сумарного пробігу порожніх місць ЗМПТ. *Підвищення надійності машин і обладнання: матеріали III Всеукр. студ. наук.практ. конф.*, 15 квітня 2009 року. Кіровоград: КНТУ, 2009. С. 136-139.

37. Аулін В.В., Замота О.М. Вплив системи технічного обслуговування і ремонту автомобілів на собівартість вантажних перевезень. *Економічні науки*. 2010р. Вип. 17. С.308-315.

38. Аулін В.В., Голуб Д.В. Поліпшення управління процесами міських пасажирських перевезень на базі впровадження логістичної системи головного маршруту на прикладі м. Кіровограда. *Логістика промислових регіонів: матеріали третьої Міжн. наук.практ. конф.*, 6-9 квітня 2011 р. Донецьк: ЛАНДОН XXI, 2011. С. 19-23.

39. Аулін В.В., Замота О.М., Замота Т.М. Підвищення рентабельності транспортного процесу в реальних умовах експлуатації *Логістика промислових регіонів: матеріали третьої Міжн. наук.практ. конф.*, 6-9 квітня 2011 р. Донецьк: ЛАНДОН XXI, 2011.С. 323-326.

40. Аулін В.В., Шевченко І.А. Новий підхід до організації та технології вантажних комплексних перевезень. *Матеріали XLV наук. конф.* 19 травня

2011 року. Кіровоград: КНТУ, 2011. С. 970-971.

41. Аулін В.В., Яхниця Ю.В. Системне формування технологій автомобільних перевезень за критеріями енерго і ресурсовіддачі. Матеріали XLV наук. конф. 19 травня 2011 року. Кіровоград: КНТУ, 2011. С. 989-990.

42. Аулін В.В., Голуб Д.В. Оцінка якості міських пасажирських перевезень в ринкових умовах. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту*: зб. матеріалів доп. учасн. IV Міжнар. наук.практ. конф. Вінниця: ВНТУ, 2011. С. 10-11.

43. Аулін В.В., Основні синергетичні компоненти прояву різних форм самоорганізації в триботехнічних системах. *Ольвійський форум 2012" Секція "Трибологія, енерго та ресурсозбереження*: зб. матеріалів доп. учасн. міжнар. наук. практ. конф. Ялта, 2012. С.60-62.

44. Аулін В.В., Голуб Д.В. Формалізація співвідношень між попитом і пропозицією в проблемі підвищення якості на міські пасажирські перевезення в ринкових умовах. *Транспорт і логістика*: матеріали III Всеукр. наук.практ. конф., 26-27 вересня 2012 р. Донецьк: ДААТ, 2012. С. 189-192.

45. Аулін В.В., Динамічна адаптація спряжень деталей до умов експлуатації з реалізацією процесів самоорганізації. *Актуальні проблеми інж. механіки*: матеріали II міжнар. наук.-техн. конф., 22-24 жовтня 2012р. Миколаїв: НУК, 2012. С 73-74.

46. Аулін В.В., Голуб Д.В. Диференціальна та інтегральна оцінка рівня якості транспортного обслуговування пасажирів в ринкових умовах. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. Частина I*. 2012. №9(180). С. 225-232.

47. Аулін В.В., Щербіна С.Ф., Голуб Д.В. Забезпечення належного рівня якості транспортного обслуговування пасажирів в сучасних умовах функціонування транспортних систем міст. Матеріали XLVII наук. конф. 18 квітня 2013 р. Кіровоград:КНТУ, 2013. С. 25-27.

48. Аулін В.В., Голуб Д.В. Вплив характеристик транспортного процесу на якість обслуговування пасажирів в сучасних умовах функціонування транспортних систем. *Проблеми розвитку транспортних систем і логістики*: матеріали IV-ої Міжнар. наук.практ. конф., 14-16 травня 2013 року. Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2013. С. 49-50.

49. Аулін В.В., Лисенко С.В., Панарін Д.Є. Удосконалення процесу технічного обслуговування автомобілів, використанням сучасних електронних методів діагностики. *Вісник інж. академії України*. 2013. №34. С. 151-157.

50. Аулін В.В., Голуб Д.В., Плохов І.О. Підвищення ефективності використання рухомого складу при перевезенні пасажирів. Матеріали XLVI наук. конф., 16 квітня 2015 р. Кіровоград: КНТУ, 2015. С. 4-5.

51. Аулин В.В., Голуб Д.В., Плохов И.О. Учет объема пассажиропотока при корректировании сроков технического обслуживания подвижного состава городского транспорта. *Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: Эксплуатация и развитие автомобильного транспорта [Текст]*: материалы X междунар. заочн.

науч.техн. конф., 15 мая 2015 г. Пенза: ПГУАС, 2015. С. 27-38.

52. Аулін В.В., Голуб Д.В. Надійність функціонування транспортної системи як чинник підвищення ефективності економіки країни. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали VIII міжн. наук.практ. конф., 19-21 жовтня 2015 р. Вінниця: ВНТУ, 2015. С. 13-16.

53. Аулін В.В., Зеленський О.В., Голуб Д.В. Використання інформаційних технологій при розв'язанні проблеми удосконалення організації пасажирських перевезень автомобільним транспортом. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали VIII міжн. наук.практ. конф., 19-21 жовтня 2015 р. Вінниця: ВНТУ, 2015. С. 22-24.

54. Аулін В.В., Гриньків А.В. Проблеми і задачі ефективності системи технічної експлуатації мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Сер. Технічні науки*. 2016. №2 (77). С.36-41.

55. Аулін В.В., Зв'язок форм авторегулювання (квазікерування) і властивостей ТТС в синергетиці підвищення їх надійності. *Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій*: матеріали IV-ої міжнар. інтернет-конф., 11.11.2016 р. Вінниця: ВНТУ, 2016. С.11-12.

56. Аулін В.В., Гриньків А.В. Теоретичне обґрунтування моментів контролю технічного стану систем і агрегатів засобів транспорту. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2017. №8. С. 9-20.

57. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем : монографія / під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В.. Кропивницький: ТОВ "КОД", 2017. 370 с.

58. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Виявлення основних проблем сфери нормативного регулювання напрямків забезпечення та підвищення надійності автомобільних транспортних систем в Україні. *Підвищення надійності машин і обладнання*: зб. матеріалів доп. учасн. XI Всеукраїнської науково-практичної конф. Кропивницький: ЦНТУ, 2017. С. 24-26.

59. Аулін В.В., Біліченко В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О. Дослідження шляхів і сукупності факторів забезпечення належного рівня ефективності і надійності транспортних систем. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали X міжнародної науково-практичної конф., 23-25 жовтня 2017 р. Вінниця: ВНТУ, 2017. С.21-24.

60. Аулін В.В., Біліченко В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О. Методологія підходів до дослідження шляхів і сукупності факторів забезпечення належного рівня ефективності і надійності транспортних систем. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2017. №2. С. 414.

61. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологія

визначення основних експлуатаційних властивостей та якості функціонування транспортних і технічних систем. *Вісник інж. академії України*. 2017. №2. С.110-115.

62. Аулін В.В., Гриньків А.В. Реалізація удосконалення стратегії технічної експлуатації засобів транспорту та її технікоекономічна оцінка. *Актуальні задачі сучасних технологій*: Зб. матеріалів доп. учасн. Міжнародної науково-технічної конф., 16–17 листопада 2017 р. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. С.12-13.

63. Аулін В.В., Голуб Д.В. Методи оцінки і аналізу надійності автомобільних транспортних систем *Актуальні задачі сучасних технологій*: Зб. матеріалів доп. учасн. Міжнародної науково-технічної конф., 16–17 листопада 2017 р. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. С.14-15.

64. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічне обґрунтування дослідження та розв'язання проблеми надійності функціонування транспортних систем. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2017. №10. С. 29-36.

65. Аулін В.В., Голуб Д.В. Забезпечення та підвищення надійності транспортних систем і процесів перевезень багатофункціональною роботою їх учасників. *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасн. V Міжнародної науково-технічної конф. Київ : НУБіП, 2018. С. 107-110.

66. Аулін В.В., Замота О.Н., Ливицький А.Н. Влияние системы технического обслуживания и ремонта на себестоимость грузовых перевозок в сельскохозяйственном производстве *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасн. V Міжнародної науково-технічної конф. Київ : НУБіП, 2018. С. 112-115.

67. Аулін В.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Підвищення ефективності транспортних систем в АПК на основі логістичного підходу. *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасн. V Міжнародної науково-технічної конф. Київ : НУБіП, 2018. С. 135-138.

68. Аулін В.В., Голуб Д. В., Біліченко В. В. Формування критеріїв ефективності функціонування транспортних систем. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали VI-ої міжнародної науково-практичної інтернет-конф., 12-13 квітня 2018 року. - Вінниця: ВНТУ, 2018. С.11-13.

69. Аулін В.В., Замота Т.Н., Замота О.Н., Гриньків А.В. Техникоэкономическое обоснование преимущества интеллектуальной стратегии технического обслуживания и ремонта легкового автомобиля. *Вісник інж. академії України*. 2017. №4. С.50-56.

70. Аулін В.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Оптимізація і управління ресурсами в транспортнологістичній системі АПК. *Наукові нотатки*. 2018. №62. С.8-11.

71. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Критерії реалізації процесів забезпечення та підвищення надійності і ефективності функціонування транспортних систем. *Наукові нотатки*. 2018. №62. С.12-16.

72. Аулін В.В., Гриньків А.В., Голуб Д.В., Агапоненко М.І. Розробка критерію вдосконалення системи технічної експлуатації засобів транспорту з врахуванням необхідної діагностичної інформації. *Наукові нотатки*. 2018. №62. С.17-20.

73. Аулін В.В., Великодний Д.О. Методи формування системи транспортнотехнологічного забезпечення в АПК. *Транспорт і логістика: проблеми та рішення*: зб. наук. праць за матеріалами VIII-ї Міжнародної науково-практичної конф. Одеса: КУПРІЄНКО СВ, 2018. С. 15-17.

74. Аулін В.В., Аналіз напрямів підвищення надійності автомобільних транспортних систем. *Підвищення надійності машин і обладнання*: зб. матеріалів доп. учасн. XII Всеукраїнської науково-практичної конф. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. С. 87-91.

75. Аулін В.В., Голуб Д.В. Можливі методи вирішення проблеми підвищення надійності та ефективності функціонування транспортних систем, підсистем та їх елементів. *Підвищення надійності машин і обладнання*: зб. матеріалів доп. учасн. XII Всеукраїнської науково-практичної конф. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. С. 161-164.

76. Viktor Aulin, Denis Velykodnyi, Viktoriya Dyachenko Concept of development and formation of transportlogistic systems in the agroindustrial complex. *Modern Management: Logistics and Education: monograph*. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2018. P.165-169.

77. Аулін В.В., Замота Т. М., Гриньків А. В., Замота О. М., Чернай А. Е. Преимущества интеллектуальной стратегии технической эксплуатации с точки зрения экономической эффективности. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2018. Вип. 192. С. 29-40.

78. Аулін В.В., Голуб Д.В., Біліченко В.В. Методологічний підхід до визначення рівня якості функціонування транспортних систем. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2018. №1(7). С. 4-9.

79. Аулін В.В., Голуб Д.В. Методичні аспекти кількісної, якісної та часової оцінки параметрів надійності функціонування транспортних систем. *Вісник Житомирського державного технологічного університету Сер. Технічні науки*. 2018. № 2 (82). С.3-10.

80. Аулін В.В., Голуб Д.В., Луценко А.С. Математичний апарат оцінки надійності багатофункціональних транспортних систем. *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту*: зб. матеріалів доп. учасн. міжн. науково-практ. інтернет-конф. Кропивницький. 2018. С.33-41.

81. Аулін В.В., Головатий А.О. Вплив виробничотехнічної бази автотранспортного підприємства на ефективність його роботи та використання парку машин *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту*: зб. матеріалів доп. учасн. міжн. науково-практ. інтернет-конф. Кропивницький. 2018. С.201-206.

82. Аулін В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О. Підвищення надійності процесу перевезень в транспортних системах різними способами

структурного резервування. *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасн. VI Міжнародної науково-технічної конф. Київ : НУБіП. 2019. С. 68-71.

83. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Замота О.М. Вплив надійності сільськогосподарської та транспортної техніки на оптимальний термін її служби. *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасн. VI Міжнародної науково-технічної конф. Київ : НУБіП. 2019. С. 83-86.

84. Аулін В.В., Гриньків А.В. Вирішення проблеми підвищення експлуатаційної надійності з використання елементів інформаційних технологій. *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасн. VI Міжнародної науково-технічної конф. Київ : НУБіП. 2019. С. 91-94.

85. Аулін В.В., Лисенко С.В., Гриньків А.В., Чернай А.Е., Лукашук А.П. Системноспрямований підхід до розробки технологій безрозбірного відновлення спряжень. *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасн. VI Міжнародної науково-технічної конф. Київ : НУБіП. 2019. С. 94-96.

86. Аулін В.В., Великодний Д.О., Голуб Д.В., Дьченко В.О. Підвищення ефективності управління логістичним ланцюгом постачання в транспортній системі. *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасн. VI Міжнародної науково-технічної конф. Київ : НУБіП. 2019. С. 195-198.

87. Аулін В.В., Великодний Д.О., Дяченко В.О. Моделювання ланцюга постачання в транспортнологістичній системі. *Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання*: матеріали Третьої Всеукраїнської науково-теоретичної конф., 28–30 березня 2019 р. Дрогобич.: Посвіт, 2019. С.68-69.

88. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Голуб Д.В. Синергетика підвищення надійності машин використанням моделей марківських процесів. *Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сх машин і знарядь*: зб. матеріалів доп. учасн. V Всеукраїнської науково-практичної конф. Житомир: Житомирський агротехнічний коледж, 2019. С. 242-245.

89. Аулін В.В., Гриньків А.В., Ляшук О.Л., Великодний Д.О. Принципові основи організації та вдосконалення системи технічного сервісу транспортних машин. *Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сх машин і знарядь*: зб. матеріалів доп. учасн. V Всеукраїнської науково-практичної конф. Житомир: Житомирський агротехнічний коледж, 2019. С. 245-248.

90. Аулін В.В., Панков А.О., Гриньків А.В., Голуб Д.В., Щеглов А.В. Розробка інтелектуального мехатронного модуля для системи управління дозуванням. *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК2019)*: зб. матеріалів доп. учасн. Дванадцятій міжнародної науково-практичної конф. Київ : НАУ, 2019. С.173-175.

91. Viktor Aulin, Olexiy Pavlenko, Denys Velikodnyy, Oleksandr Kalinichenko2, Andriy Hrinkiv, Viktoriy Diychenko, Volodymyr Dzyura Methodological approach to estimation of efficiency of the facing of the stock complex of transport and logistic centers in Ukraine. *ICCPT 2019: Current Problems of Transport: Proceedings of the 1-st International Scientific Conference*,

May 28-29, 2019, Ternopil, Ukraine. С.120-134.

92. Аулін В.В., Лисенко С.В., Жилова І.В., Вербицький О.В. Синергетичне підвищення надійності трибоспиряжень деталей систем і агрегатів транспортних машин. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability*: матеріали 1-ої Міжнародної науково-практичної конф., 17-19 квітня 2019 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2019. С.78.

93. Аулін В.В., Великодний Д.О. Моделювання ланцюга постачання в транспортнологістичній системі. *Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання*: матеріали 3-ї Всеукр. наук.теорет.конференції, 28-30 березня 2019 року. Дрогобич.: Посвіт, 2019. С.68-69.

94. Аулін В.В., Голуб Д.В. Забезпечення ефективності функціонування транспортних систем шляхом підвищення надійності структурнофункціональних резервних схем процесу доставки. *Наука – виробництво 2019*: зб. матеріалів доп. учасн. І наукової конф., 18 квітня 2019 року. Кропивницький: ЦНТУ, 2019. С. 17-20.

95. Аулін В.В., Степанов О.О., Кудря Д.Ю., Дібрівний В.С., Голуб Д.В. Оцінка надійності автомобільних транспортних систем з використанням кількісних параметрів. *День науки – 2019, приурочений до 90-річчя ЦНТУ*: зб. матеріалів доп. учасн. ІІІ наукової конф. Кропивницький: ЦНТУ, 2019. С. 53-55.

96. Аулін В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Розв'язання проблеми надійності технологічних процесів вантажних перевезень підприємствами агропромислового виробництва. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2019. Вип. 1(32). С.36-45.

97. Аулін В.В., Великодний Д. О., Тирса Я. В., Кабак В. Д. Оцінка ефективності функціонування міського пасажирського транспорту з урахуванням вибору маршруту пасажиром. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали VIII-ої міжн. наук.практичної інтернет-конф., 14-15 квітня 2020 р. Вінниця: ВНТУ, 2020. С.15-16

98. Аулін В.В., Голуб Д. В., Біліченко В. В., Замуренко А. С. Принципи самоорганізації автомобільних транспортних систем *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали VIII-ої міжн. наук.практичної інтернет-конф., 14-15 квітня 2020 р. Вінниця: ВНТУ, 2020. С.17-19.

99. Аулін В.В., Гриньків А. В., Головатий А.О. Системна концепція аналізу автотранспортної техніки та зміни її технічного стану підчас експлуатації. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали VIII-ої міжн. наук.практичної інтернет-конф., 14-15 квітня 2020 р. Вінниця: ВНТУ, 2020. С.20-22.

100. Аулін В.В., Голуб Д., Замуренко А. Підвищення ефективності транспортного процесу формування інформаційних потоків в системі перевезень вантажів. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем*: матеріали ІІ

Міжнародної науково-технічної інтернет-конф., 25-27 березня 2020 р. Рівне : НУВГП, 2020. С. 41-43.

101. Аулін В.В., Гриньків А., Головатий А Рівні завдань та структура функціонування системи технічного сервісу транспортних машин. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем*: матеріали II Міжнародної науково-технічної інтернет-конф., 25-27 березня 2020 р. Рівне : НУВГП, 2020. С. 123-125.

102. Аулін В.В., Голуб Д.В., Біліченко В.В., Замуренко А.С. Формування показників оцінки ефективності транспортного процесу перевезень. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2020. №1(11). С. 5-10.

103. Аулін В.В., Лисенко С.В., Гриньків А.В. Модель надійності деталей транспортних машин за процесами реалізації триботехнологій їх припрацювання і відновлення. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2019. Вип. 2(33). С.50-64.

104. Аулін В.В., Замота Т.Н., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Крупица О.В., Панайотов К.К. Обоснование использования современных подходов для усовершенствования диагностирования систем и агрегатов автомобиля. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2019. Вип. 2(33). С.65-75.

105. Аулін В.В., Гриньків А.В. Теоретичне обґрунтування якісного і кількісного приросту надійності електронних систем транспортних машин. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability*: матеріали Міжнародної науково-практичної конф., 15-17 квітня 2020 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2020. С.129-131.

106. Аулін В.В., Гриньків А.В., Кіберфізичний підхід в дослідження стану технічних систем. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability*: матеріали Міжнародної науково-практичної конф., 15-17 квітня 2020 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2020. С.168-169.

107. Аулін В.В., Гриньків А.В., Голуб Д.В., Лисенко С.В., Головатий А.О. Визначення раціональної схеми доставки вантажних відправлень на основі експериментальних досліджень. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability*: матеріали Міжнародної науково-практичної конф., 15-17 квітня 2020 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2020. С.197-204.

108. Аулін В.В., Гриньків А.В., Головатий А.О. Інтелектуальні транспортні системи як результат впровадження інноваційних ефективних технологій. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability*: матеріали Міжнародної науково-практичної конф., 15-17 квітня 2020 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2020. С.207.

109. Аулін В.В., Голуб Д.В., Дібрівний В.С., Талалаєв О.М., Шерстюков В.В., Ніколенко Б.М. Інформаційна модель забезпечення надійності та ефективності транспортних процесів пасажирських перевезень. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and*

Список використаних джерел до розділу 10

1. Бойко А. Проблемы совершенствования и тенденции развития посевной техники / А. Бойко, Н. Свирень, П. Сысолин, Н. Петренко. *Техніка АПК*. 2000. № 11-12. С. 8-10.
2. Мухин С. П. Систематизация высевающих аппаратов машин посевного комплекса (механические высевающие аппараты) / С. П. Мухин. *Достижения науки и техники АПК*. 1992. № 7. С. 33-36.
3. Панов И. М. Пути повышения производительности пахотных агрегатов / И. М. Панов. *Тракторы и сельхозмашины*. 1985. №7. С. 21-25.
4. Максимов Д. А. Некоторые пути устойчивого развития сельскохозяйственного производства. *Экология и сельскохозяйственная техника*: материалы 4-й научно-практической конференции. Санкт-Петербург: СЗНИИМЭСХ, 2005. С. 52-58.
5. Кондауров Д. И. Зависимость производительности мобильной сельхозмашины от ее параметров и условий эксплуатации / Д. И. Кондауров. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1982. № 11. С. 17-19.
6. Жук З. Я. Техническое оборудование для специализированных агрокомплексов будущего / З. Я. Жук, Ю. А. Кругляков. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1985. № 4. С. 3-6.
7. Токарев В. А. Пути повышения производительности посевных агрегатов / В. А. Токарев. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1975. № 4. С. 35-37.
8. Дегтярев В. А. Мобильная энергетика в одиннадцатой пятилетке / В. А. Дегтярев, А. Я. Поляк. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1981. № 2. С. 1-3.
9. Либцис С. Е. Потенциальные возможности использования мощности энергонасыщенных колесных тракторов / С. Е. Либцис. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1986. № 9. С. 8-16.
10. Либцис С. Е. Статистическая оценка мощности и удельной массы сельскохозяйственных тракторов / С. Е. Либцис, Т. А. Кузько. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1989. №2. С. 8-11.
11. Габай Е. В. Анализ материалоемкости и энергозатрат широкозахватных машиннотракторных агрегатов / Е. В. Габай, Г. М. Кутьков. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1985. №3. С. 1-6.
12. Кузнецов Б. Ф. Основные направления развития конструкций посевных машин / Б. Ф. Кузнецов. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1980. № 9. С. 13-14.

13. Кузнецов Б. Ф. Состояние и основные направления работ по созданию посевной техники / Б. Ф. Кузнецов, П. В. Сысолин. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1975. № 10. С. 16-18.

14. Астафьев М. И. Улучшение эксплуатационных показателей тракторов / М. И. Астафьев. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1985. №3. С. 37-40.

15. Гусев В. М. Тенденции развития конструкций пропашных сеялок (обзор) / В. М. Гусев, С. К. Иваница. *Сельскохозяйственные машины и орудия*. 1982. Серия 10. 31 с.

16. Тимофеев А. И. Посевные машины / А. И. Тимофеев. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1977. № 3. С. 61-62.

17. Зырянов В. А. Перспективные широкозахватные посевные агрегаты / В. А. Зырянов, Н. Г. Цыбуля. *Техника в сельском хозяйстве*. 1991. №3. С.52-54.

18. Басин В. С. Анализ факторов, определяющих эффективность широкозахватных сеялок / В. С. Басин. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1976. № 8. С. 18-21.

19. Ксеневиц И. П. О перспективах развития агрегатной унификации и создания модульных энергетических средств / И. П. Ксеневиц, В. В. Яцкевич. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1987. № 12. С. 6-11.

20. Ролдугин Н. И. Обоснование оптимальной ширины захвата посевных агрегатов / Н. И. Ролдугин, И. Ф. Брехарь, В. Н. Степанов. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1987. № 7. С. 25-28.

21. Аулин В. В. Энергетическая концепция развития высевяющих систем / В. В. Аулин, А. А. Панков. *Вісник інженерної академії України*. 2016. № 1. С. 267-273.

22. Панков А. А. Повышение производительности посевных машин на основе рационального использования энергии / А. А. Панков. *Збірник наукових праць ЛНАУ. Сер. Технічні науки*. 2006. № 68/91. С. 186-193.

23. Евтенко В. Г. Универсализация сельскохозяйственных тракторов и блочно-модульный метод создания мобильных агрегатов / В. Г. Евтенко. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1989. № 10. С. 15-19.

24. Герук С. Н., Петриченко Е. А. Анализ конструкций агрегатов для предпосевной обработки почвы и посева. *Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Международной научно-технической конференции, 22–23 октября 2014 г.* Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2014. С.147-152.

25. Крючин Н. П. Посевные машины. Особенности конструкций и тенденции развития : уч. пособие / Н. П. Крючин. Самара: РИЦ СГСХА, 2009. 176 с.

26. Репетов А. Какой агрегат выгоднее? / А. Репетов. *Сельский механизатор*. 1987. № 2. С. 10.

27. Романишин О. Ю. Сошник для розкидного способу сівби зернових культур / О. Ю., Романишин М. Л. Засць. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2006. № 4. С. 87-89.

28. Федоренко В. Ф. Технологическая модернизация растениеводства на основе инновационной техники. *Фундаментальные основы научно-технической и технологической модернизации АПК (ФОНТыТМ-АПК-13: материалы Всероссийской научно-практической конференции, 6-7 июня 2013 г. Уфа: Башкирский ГАУ, 2013. Ч. I. С. 47-58.*

29. МIRONENKO В. Г. Науково-технічні основи розробки засобів механізації з керованою якістю виконання технологічних процесів у рослинництві: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 05.05.11 "Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва" / В.Г. МIRONENKO. Київ, 2006. 39 с.

30. Свентицкий И. И. Биоэнергетические аспекты системных решений в высокоинтенсивном земледелии / И. И. Свентицкий. *Техника в сельском хозяйстве*. 1988. №3. С. 46-50.

31. Свентицкий И. И. О развитии биоэнергетических основ агроэнергетики / И. И. Свентицкий. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1983. № 5. С. 54-57.

32. Ревякин Е. Л. Ресурсосберегающие технологии: состояние, перспективы, эффективность / Е. Л. Ревякин, А. Т. Табашников, Е. М. Самойленко, В. И. Драгайцев. Москва : ФГБНУ Росинформагротех, 2011. 156 с.

33. Коваль В. Я. Основные закономерности развития и методы совершенствования сельскохозяйственной техники / В. Я. Коваль. *Збірник наукових праць Луганського сільськогосподарського інституту*. 1998. № 2 (4). С. 23-29.

34. Авербух С. Л. Системное описание и моделирование сельскохозяйственного производства / С. Л. Авербух, А. П. Бочаров. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1987. № 1. С. 3-6.

35. Булгаков В. Сучасний стан наукового забезпечення державної технічної політики країни у сільському господарстві / В. Булгаков. *Техніка АПК*. 2008. № 9-10. С. 8-11.

36. Погорелый Л. В. Научные основы повышения производительности сельскохозяйственной техники / Л. В. Погорелый, В. Г. Бильский, Н. П. Кононенко. – Киев : Урожай, 1989. 240 с.

37. Погорелый Л. В. Индустриализация агропромышленного комплекса / Леонид Владимирович Погорелый. Киев : Техніка, 1984. 200 с.

38. Погорелый Л. В. Повышение эксплуатационнотехнологической эффективности сельскохозяйственной техники / Леонид Владимирович Погорелый. Киев: Техніка, 1990. 174 с.

39. Куйбышев В. А. Научное обеспечение механизации сельскохозяйственного производства в 12-й пятилетке / В. А. Куйбышев. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1986. № 11. С. 3-4.

40. Тараріко Ю. О. Біоенергетична оцінка сільськогосподарського виробництва : [науково-методичне забезпечення] / Ю. О. Тараріко, О. Ю. Несмашна, О. М. Бердніков / за наук. ред. Ю. О. Тараріко. Київ : Аграрна наука, 2005. 200 с.

41. Эйдис А. Л. Интенсификация и Система машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства / А. Л. Эйдис, А. Н. Черепакhin, В. М. Стариков. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1987. № 2. С. 3-5.

42. Плешаков В. Н. Обоснование технического уровня и направлений развития сельскохозяйственной техники: дисс. доктора технич. наук : 05.20.01 "Механизация сельскохозяйственного производства" / Плешаков Вадим Николаевич. Краснодар, 2001. 529 с.

43. Коваль В. Я. Основные закономерности развития и методы совершенствования сельскохозяйственной техники / В. Я. Коваль. *Збірник наукових праць Луганського сільськогосподарського інституту*. 1998. № 2 (4). С. 23-29.

44. Wegener J. K. Neue Pflanzenbausysteme entwickeln – welche innovativen Techniken werden benötigt?. J. K. Wegener, L. M. Urso, D. v. Hörsten, T. F. Minßen, C. C. Gaus. *Landtechnik*. 2017. № 72 (2). pp. 91-100.

45. Базаров Е. И. К методике прогнозирования эффективности техники / Е. И. Базаров. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1976. № 5. С. 4-7.

46. Бондаренко Н. Г. Эксплуатация машиннотракторного парка / Николай Григорьевич Бондаренко. изд. 2–е, перераб. и доп. Киев : Вища школа, 1983. 234 с.

47. Канарев Ф. М. Системный анализ в оценке технологий / Ф. М. Канарев, Е. А. Ковалева. *Техника в сельском хозяйстве*. 1989. № 2. С. 46-47.

48. Ксенович И. П. О системном методе прогнозирования параметров сельскохозяйственных агрегатов / И. П. Ксенович, В. В. Гуськов, А. Т. Скойбеда. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1976. № 8. С.3-5.

49. Лесниковский А. И. Оценка машин по обобщенному критерию качества / А.И. Лесниковский, Т. И. Сенченко. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1974. № 3. С. 56-58.

50. Степанянц Э. Н. Определение оптимальных параметров пахотных агрегатов методом математического моделирования / Э. Н. Степанянц. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1975. № 4. С. 31-32.

51. Татьянакo Н. В. Сравнительная оценка машин по совокупности признаков / Н. В. Татьянакo, В. А. Грозубинский. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1975. № 4. С. 50-53.

52. Касумов Н. Э., Свентицкий И. И. Энергоёмкость производства сельскохозяйственной продукции как критерий эффективности / Н. Э. Касумов, И. И. Свентицкий. *Вестник Брянского государственного университета*. 2014. № 3. С. 42-45.

53. Пиуновский И. И. Принцип оптимальной энергоёмкости технологических процессов и средств механизации в сельскохозяйственном производстве / И. И. Пиуновский, В. Р. Петровец, Н. И. Дудко. *Вестник БГСХА*. 2016. Т. 1, № 1. С. 98-101.

54. Александров И. К. Энергетический анализ машинных агрегатов / И. К. Александров. *Техника в сельском хозяйстве*. 1994. № 3. С. 2-5.

55. Александров И. К. Проблемы энергосбережения в сельскохозяйственных машинах и агрегатах / И. К. Александров. *Техника в сельском хозяйстве*. 1995. № 1. С. 12-14.

56. Хорунженко В. Е. Совершенствование методов анализа и технического уровня сельхозмашин / В. Е. Хорунженко, Г. М. Пекерман, Л. И. Кондратец, А. М. Кругляков. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1988. № 7. С. 6-8.

57. Маслов Г. Г., Плешаков В. Н. Оценка технического уровня зерновых сеялок и посевных комплексов / Г. Г. Маслов, В. Н. Плешаков. *Техника в сельском хозяйстве*. 2000. № 6. С. 19-22.

58. Зангиев А. А. Оптимизация энергонасыщенности трактора с учетом уплотняющего воздействия на почву / А. А. Зангиев. *Техника в сельском хозяйстве*. 2000. № 2. С. 34-36.

59. Яцкевич В. В. О принципе модульного построения сельскохозяйственных мобильных агрегатов / В. В. Яцкевич. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1982. № 10. С. 11-14.

60. Агафонов К. П. Рабочая скорость и энергетика машинно-тракторного агрегата / К. П. Агафонов. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1979. № 5. С. 12-15.

61. Гевко Б. М. Особливості розрахунку однозернових апаратів за допомогою морфологічного синтезу / Б. М. Гевко, Р. І. Лотоцький, С. Г. Білик, В. М. Прищяк. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2015. № 1 (91) С. 18.

62. Гевко Б. М. Технологічні основи проектування та виготовлення посівних машин : монографія Тернопіль : Вид. ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. 238 с.

63. Сисолін П. В. Висівні апарати сівалок (еволюція конструкцій, розрахунки параметрів) : навч. посібник. Кіровоград, КНТУ, 2004. 160 с.

64. Гусев В. М. Тенденции развития конструкций пропашных сеялок за рубежом / В. М. Гусев, Ю. Н. Бондаренко. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1982. № 3. С. 37-39.

65. Котов Д. Н. Поэтапный анализ технологического процесса высева семян / Д. Н. Котов. *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2010. № 3. С. 23-25.

66. Пастухов В. І. Перспективні напрямки модернізації зернових сівалок. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка*. 2012. Вип. 135. С. 77-88.

67. Любушко Н. И. Зерновые сеялки на рубеже XXI века / Н. И. Любушко, В. Н. Зволинский. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2001. № 2 С. 4-7.

68. Подураев Ю. В. Мехатроника: основы, методы, применение : учеб. пособие. Москва: Машиностроение, 2006. 256 с.

69. Панков А. А., Щеглов А. В. Качественный системный анализ процессов и явлений в техническом обеспечении АПК. *Проблемы конструирования, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки:*

матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конф. Кіровоград : КНТУ, 2013. Вип.1. С. 219-221.

70. Альтшуллер Г. С. Творчество как точная наука: Теория решения изобретательских задач / Генрих Саулович Альтшуллер. Москва : Советское радио, 1979. 176 с.

71. Система законов развития техники (основы теории развития технических систем) [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://www.trizminsk.org/e/21101470.html>

72. Вепольный анализ (приемы поиска технических решений) [Электронный ресурс]. Режим доступа : http://studopedia.ru/3_3228_verpolny-analiz.html

73. Закон увеличения степени вепольности [Электронный ресурс]. Режим доступа : <https://www.alterozoom.com/documents/10541.html>

74. Законы развития систем [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://www.altshuller.ru/triz/zrts1.asp#32>

75. Кошурников А. Ф. Пунктирный посев пропашных культур и формирование густоты насаждений : монография. Пермь: ИПЦ "Прокрость", 2015. 218 с.

76. Листопад Г. Е. Важнейшие проблемы в развитии земледельческой механики / Г. Е. Листопад. *Техника в сельском хозяйстве*. 1991. № 3. С.4-9.

77. Трофимов В. А. Электронизация и технический уровень сельскохозяйственной техники / В. А. Трофимов, А. И. Хохлов. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1989. № 6. С. 12-13.

78. Ксеневиц И. П. Автоматизация и электронизация - путь интенсификации сельскохозяйственного производства / И. П. Ксеневиц. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1989. № 6. С. 9-11.

79. Иофинов С. А. Индустриальные технологии возделывания сельскохозяйственных культур / С. А. Иофинов, Г. П. Лышко. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1986. № 4. С. 16-18.

80. Федоренко В. Ф. Научно-информационное обеспечение инновационного развития в сфере сельского хозяйства / В. Ф. Федоренко. Москва: ФГБНУ Росинформагротех, 2011. 368 с.

81. Сарахан Е. В. Информационные технологии в прецизионном земледелии / Е. В. Сарахан. *Компьютерные средства, сети и системы*. 2010. №9. С.82-91.

82. Малієнко А. М. Загальні закономірності формування технологій мінімального обробітку ґрунту в землеробстві України / А. М. Малієнко. *АгроІнКом*. 2007. № 1-2. С. 18-22.

83. Петров В. М. Методологія технічного забезпечення інноваційних технологій у рослинництві [Електронний ресурс] / В. М. Петров. Режим доступа : <http://dspace.knau.kharkov.ua>

84. Борошок Л. А. Автоматичні системи і технічний рівень зернових сівалок / Л. А. Борошок. *Вісник аграрної науки*. 1994. № 9. С. 67-74.

85. Мироненко В. Г. Автоматизація технологічних процесів - як фактор створення сільськогосподарської техніки нового покоління / В. Г. Мироненко,

С. В. Ткачук. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2014. Вип. № 99, Т. 2. С. 11-16.

86. Липкович Э. И. Базисное машинно–технологическое обеспечение сельскохозяйственных производственных процес сов. *Фундаментальные основы научно–технической и технологической модернизации АПК*: материалы Всероссийской научно–практической конференции, 6-7 июня 2013 г. Уфа: Башкирский ГАУ, 2013. С. 20-30.

87. Бородин И. Ф. Роль энергии в развитии земледельческой механики / И. Ф. Бородин. *Земледельческая механика на рубеже столетий. Сборник докладов пленарного заседания международной конференции*. 2001. С.37-42.

88. Гуськов В. В. Тракторы. Ч.Ш. Конструирование и расчет под общ. ред. В. В. Гуськова. Минск. 1981. - 383 с.

89. Каменев А. Ф. Технические системы: закономерности развития. Ленинград : Машиностроение, 1985. 216 с.

90. Панов И. М. Пути повышения производительности пахотных агрегатов / И. М. Панов. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1985. № 7. С. 21-25.

91. Погорелый Л. В. Сельскохозяйственная техника и технологии будущего. Киев : Урожай, 1988. 176 с.

92. Волков Б. Г. Прогнозирование социальноэкономического предела повышения мощности сельскохозяйственных тракторов. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1981. № 9. С. 4-6.

93. Жук З. Я., Методические основы прогнозирования развития сельскохозяйственной техники / З. Я. Жук, А. Ю. Победоносцев. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1991. № 10. С. 1-6.

94. Либцис С. Е. Статистическая оценка мощности и удельной массы сельскохозяйственных тракторов / С. Е. Либцис, Т. А. Кузько. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1989. № 2. С. 8-11.

95. Надькто В. Т. Прогноз развития энергонасыщенности сельскохозяйственных тракторов *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2015. Вип. № 1 (100). С. 147-151.

96. Альт В. В. Концепция развития посевных машин / В. В. Альт, С. Г. Щукин, В.А. Вальков. *Достижения Науки и Техники АПК*. 2008. № 9. С. 44-48.

97. Нечипорук Д. В. Особенности технологии Data mining / Д. В. Нечипорук. *Молодой исследователь Дона*. 2017. № 1 (4). С. 62-65.

98. Чубукова И. А. Data Mining : курс лекций интернет–университета INTUIT. 2006. 328 с.

99. Степанов Р. Г. Технология Data Mining: Интеллектуальный анализ данных / Р. Г. Степанов. Казань, 2009. 57 с.

100. Семенкин Е. С. Эволюционные методы моделирования и оптимизации сложных систем : конспект лекций / Е. С. Семенкин, М.Н. Жукова, В. Г. Жуков, И. А. Панфилов, В. В. Тынченко. Красноярск, 2007. 515 с.

101. Агафонов К. П. Эффективность и мощность машиннотракторного агрегата. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1981. № 5. С.12-14.
102. Погорелый Л. В. Сельскохозяйственная техника и технологии будущего. Киев : Урожай, 1988. 176 с.
103. Аулин В. В., Панков А. А. Исследование показателей эффективности конструкций и рабочего процесса зерновых сѣялок. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки: матеріали XI Міжнародної науково-практичної конф. Кропивницький : ЦНТУ, 2017 р. С. 119-120.*
104. Иванов И. Ф. Использование логистической кривой для оценки стоимости компании на развивающемся рынке / И. Ф. Иванов. *Корпоративные финансы*. 2008. № 1 (5). С. 47-62.
105. Денисов А. А. Рациональное использование мощных тракторов / А. А. Денисов, Ю. А. Тырнов, С. Ф. Нефедченко. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1987. № 5. С. 44.
106. Жук З. Я. Прогнозные исследования основных групп сельхозмашин / З. Я. Жук, А. Ю. Победоносцев. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1991. № 12. С. 6-12.
107. Аулин В. В. Эволюционное вычисление жизненного цикла технических средств на основе генетических алгоритмов / В. В. Аулин, А. А. Панков. *Вісник інженерної академії України*. 2017. № 2. С. 116-119.
108. Астахов В. С. Анализ распределителей семян для пневматических сѣялок / В. С. Астахов. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1999. № 5. С.31-33.
109. Базаров Е. И. К методике прогнозирования эффективности техники / Е. И. Базаров. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1976. № 5. С. 4-7.
110. Аулин В. В., Черновол М. И., Панков А. А. Критерий эффективности применения зерновых сѣялок с механическими высевальными аппаратами. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільгоспмашин*. 2017. Вип. 47, Ч. 1. С. 40-46.
111. Александров И. К. Сопоставление балансов энергопотребления машин непрерывного и периодического действия / И. К. Александров. *Техника в сельском хозяйстве*. 1995. № 5. С. 15-16.
112. Коваль В. Я. Основные закономерности развития и методы совершенствования сельскохозяйственной техники / В. Я. Коваль. *Збірник наукових праць Луганського сільськогосподарського інституту*. 1998. № 2(4). С. 23-29.
113. Далматов Б. И. Механика грунтов, основания и фундаменты / Б. И. Далматов. Москва : Стройиздат, 1981. 319 с.
114. К вопросу обоснования оптимальных параметров посевных машин / под ред. М. Е. Мацепуро. Вопросы сельскохозяйственной механики. Т.ХVI. Минск : Урожай, 1967. 356 с.
115. Клейн Г. К. Строительная механика сыпучих тел : 2-е изд., перераб. и доп. Г. К. Клейн. Москва : Стройиздат, 1977. 256 с.

116. Зенков Р. Л. Механика насыпных грузов : 2-е изд., испр. и доп. Р. Л. Зенков. Москва: Машиностроение, 1964. 251 с.

117. Коваль В. Я. Решение третьей задачи виброреологии путем аппроксимации теоретических данных и обобщения полученных результатов для различных сыпучих сред / В. Я. Коваль, Н. И. Волошко, А. А. Панков. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2001. Вип.10. С. 59-63.

118. Коваль В. Я. Определение силы бокового давления семян подсолнечника на стенку неглубокого сосуда / В. Я. Коваль, А. В. Щеглов, А. А. Панков. *Збірник наукових праць ЛНАУ. Сер. Технічні науки*. 2004. № 42/54. С. 76-84.

119. Сверчук Г. С. Научные основы повышения рабочих скоростей машинно-тракторных агрегатов / Г. С. Сверчук. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1975. № 4. С. 22-57.

120. Агафонов К. П. Рабочая скорость и энергетика машиннотракторного агрегата / К. П. Агафонов. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1979. № 5. С. 12-15.

121. Аулін В.В., Солових А.Є., Дігтяр Б. Економікоматематичне модулювання процесів управління підприємством в умовах господарського ризику і невизначеності. *Наук. праці КДТУ. Екон. науки*. 2000. Вип.8. С. 151-156.

122. Аулін В.В., Гриньків А.В., Замота Т.М. Забезпечення та підвищення експлуатаційної надійності транспортних засобів на основі використання методів теорії чутливості. *Вісник інж. академії України*. 2015. №3. С. 66-72.

123. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Замота О.М. Методологія вибору та управління ефективністю використання техніки у сільськогосподарському виробництві. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2016. Вип. 29. С.2-12.

124. Аулин В.В., Гринькив А. Использование теоретикоинформационного подхода для анализа технического состояния топливной системы автомобилей. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2016. Vol.18. No.2. P. 63-68.

125. Аулин В.В., Ливицкий А.,Замота О., Гринькив А. Повышение эффективности использования мобильной сельскохозяйственной техники на предприятиях АПК. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2016. Vol.18. No.2. P. 117-122.

126. Аулін В.В., Гриньків А.В. Проблеми і задачі ефективності системи технічної експлуатації мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Сер. Технічні науки*. 2016. №2 (77). С.36-41.

127. Аулін В.В., Черновол М.І., Панков А.О. Напрями розвитку висівних систем. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2016. Вип. №3 (102). С.54-58.

128. Аулін В.В., Зв'язок форм авторегулювання (квазікерування) і властивостей ТТС в синергетиці підвищення їх надійності. *Проблеми дозовності матеріалів, покриттів та конструкцій: матеріали IV-ої міжнар. інтернет-конф.*, 11.11.2016 р. Вінниця: ВНТУ, 2016. С.11-12.

129. Аулін В.В., Панков А.А. Эволюционное вычисление жизненного цикла технических средств на основе генетических алгоритмов. *Вісник інж. академії України*. 2017. №2. С.116-119.

130. Аулін В.В., Замота О.М. Економічна ефективність системи технічного обслуговування і ремонту мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки з елементами прогнозування / *Актуальні задачі сучасних технологій: зб. матеріалів доп. учасн. Міжнародної науково-технічної конф. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*, 2017. С.16-17.

131. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Удосконалення системи транспортного обслуговування підприємств агропромислового виробництва. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2017. Вип. 47, ч.ІІ. С. 3-10.

132. Аулін В.В., Замота Т. М., Гриньків А. В., Замота О. М., Чернай А. Е. Преимущества интеллектуальной стратегии технической эксплуатации с точки зрения экономической эффективности. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2018. Вип. 192. С. 29-40.

133. Аулін В.В., Панков А.А., Щеглов А.В., Герук С.Н. Посевные машины с пневмодискретными высевающими системами для работы в информационных системах земледелия. *Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сб. научных статей Международной научно-практической конференции*. Минск : БГАТУ, 2018. С. 114-117.

134. Аулін В.В., Панков А.А. Автоматизация и информатизация транспортных средств на основе распределенной системы управления с интеллектуальными мехатронными модулями. *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту: зб. матеріалів доп. учасн. міжнародної науково-практичної інтернет-конф. Кропивницький : ЦНТУ*. 2018. С.97-100.

135. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Замота О.М. Вплив надійності сільськогосподарської та транспортної техніки на оптимальний термін її служби. *Крамаровські читання: зб. матеріалів доп. учасн. VI Міжнародної науково-технічної конф. Київ : НУБіП*, 2019. С. 83-86.

136. Аулін В.В., Гриньків А.В. Вирішення проблеми підвищення експлуатаційної надійності з використання елементів інформаційних технологій. *Крамаровські читання: зб. матеріалів доп. учасн. VI Міжнародної науково-технічної конф. Київ : НУБіП*, 2019. С. 91-94.

137. Аулін В.В., Лисенко С.В., Гриньків А.В., Чернай А.Е., Лукашук А.П. Системноспрямований підхід до розробки технологій безрозбірного

відновлення спряжень деталей. *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасн. VI Міжнародної науково-технічної конф. Київ : НУБіП, 2019. С. 94-96.

138. Аулін В.В., Панков А.О., Замота Т.М. Аналіз критеріїв ефективності роботи засобів механізації на основі розмірностей фізичних величин. *Крамаровські читання*: зб. матеріалів доп. учасн. VI Міжнародної науково-технічної конф. Київ : НУБіП, 2019. С. 186-189.

139. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Голуб Д.В. Синергетика підвищення надійності машин використанням моделей марківських процесів. *Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сх машин і знарядь*: зб. матеріалів доп. учасн. V Всеукраїнської науково-практичної конф. Житомир: Житомирський агротехнічний коледж, 2019. С. 242-245.

140. Аулін В.В., Гриньків А.В., Ляшук О.Л., Великодний Д.О. Принципові основи організації та вдосконалення системи технічного сервісу транспортних машин. *Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сх машин і знарядь*: зб. матеріалів доп. учасн. V Всеукраїнської науково-практичної конф. Житомир: Житомирський агротехнічний коледж, 2019. С. 245-248.

141. Аулін В.В., Панков А.О, Гриньків А.В., Голуб Д.В., Щеглов А.В. Розробка інтелектуального мехатронного модуля для системи управління дозуванням. *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК2019)*: зб. матеріалів доп. учасн. Дванадцятій міжнародній науково-практичній конф. Київ : НАУ, 2019. С.173-175.

142. Аулін В.В., Панков А.О, Щеглов А.В. Дослідження пневмоструминних висівних апаратів дискретної дії для швидкісної сівби в інформаційній системі землеробства. *Вісник Львівського національного аграрного університету Сер. Агроінженері дослідження*. 2018. № 22. С.31-40.

143. Аулін В.В., Лисенко С.В., Жилова І.В., Вербицький О.В. Синергетичне підвищення надійності трибоспряжень деталей систем і агрегатів транспортних машин. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability*: матеріали 1-ї Міжнародної науково-практичної конф., 17-19 квітня 2019 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2019. С.78.

144. Аулін В.В., Голуб Д., Замуренко А. Підвищення ефективності транспортного процесу формування інформаційних потоків в системі перевезень вантажів. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем*: матеріали II Міжнародної науково-технічної інтернет-конф. 25-27 березня 2020 р. Рівне : НУВГП, 2020. С. 41-43.

145. Аулін В.В., Гриньків А.В., Кіберфізичний підхід в дослідження стану технічних систем. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability*: матеріали Міжнародної науково-практичної конф., 15-17 квітня 2020 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2020. С.168-169.

Наукове видання

Аулін Віктор Васильович
Гриньків Андрій Вікторович
Головатий Артем Олегович
Лисенко Сергій Володимирович
Голуб Дмитро Вадимович
Кузик Олександр Володимирович
Тихий Андрій Анатолійович

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ І ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

Монографія

Українською мовою

Редактор – Аулін В.В.
Технічний редактор – Лисенко В.Ф.
Комп'ютерний набір – Головатий А.О.

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 24,87.
Облік. видав. арк. 25,71. Тираж. 300. Зам. 265.

Видавець і виготовлювач СПД ФО Лисенко В.Ф.
25029, м. Кропивницький, вул. Пацаєва, 14, корп. 1, кв. 101. Тел.: (0522) 322-326
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи: серія ДК № 3904 від 22.10.2010