

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВНУТРІШНІХ СПРАВ

МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МЕДИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ІНСТИТУТ
ВНЗ «УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ АЛЬФРЕДА НОБЕЛЯ»

**Олег Аврунін, Сергій Владов, Марина Петченко,
Валерій Семенець, Вадим Татаринів, Ганна Тельнова,
Валентин Філатов, Юрій Шмельов, Наталія Шушляпіна**

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Монографія

Кременчук
NOVA BOOK
ВИДАВНИЦТВО

2021

*Рекомендовано до видання Науково-технічною радою Харківського національного університету радіоелектроніки
Міністерства освіти і науки України
(протокол № 12/6 від 28 жовтня 2021 року)*

Рецензенти:

Андрусевич Анатолій Олександрович, доктор технічних наук, професор, Відокремлений структурний підрозділ «Криворізький фаховий коледж Національного авіаційного університету», начальник

Каргін Анатолій Олексійович, доктор технічних наук, професор, Український державний університет залізничного транспорту, завідувач кафедри інформаційних технологій

Шевченко Ігор Васильович, доктор технічних наук, професор, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, професор кафедри автоматизації та інформаційних систем

I 73 Інтелектуальні системи автоматизації : монографія / Аврунін О. Г., Владов С. І., Петченко М. В., Семенець В. В., Татарінов В. В., Тельнова Г. В., Філатов В. О., Шмельов Ю. М., Шушляпіна Н. О. – Кременчук : Видавництво «НОВАБУК», 2021. – 322 с.

ISBN 978-617-639-347-4

Монографія присвячена вивченню теоретичних і практичних аспектів застосування інтелектуальних інформаційних систем для задоволення актуальних потреб суспільства в різних сферах діяльності: при формуванні інтелектуальних транспортних систем; у авіації – при розробці та удосконаленні методів контролю та діагностики технічного стану авіаційних двигунів та для модернізації механізмів управління економічною діяльністю авіакомпаній; у економіці; у галузі інтелектуальних обчислень; у медицині – з метою вдосконалення сучасних методів діагностики.

Матеріали, викладені у даній монографії, можуть бути застосовані в освітньому процесі при викладанні навчальних дисциплін відповідних освітньо-професійних та освітньо-наукових програм усіх рівнів спеціальностей 122 «Комп'ютерні науки», 126 «Інформаційні системи та технології», 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», 163 «Біомедична інженерія», 272 «Авіаційний транспорт», 275 «Транспортні технології (за видами транспорту)».

УДК 629.735

- © Аврунін О. Г.
- © Владов С. І.
- © Петченко М. В.
- © Семенець В. В.
- © Татарінов В. В.
- © Тельнова Г. В.
- © Філатов В. О.
- © Шмельов Ю. М.
- © Шушляпіна Н. О.

ISBN 978-617-639-347-4

DOI: 10.30837/978-617-639-347-4

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	6
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1	
СУЧАСНІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ (Татарінов В.В., к.е.н., доцент)	13
1.1 Експертні системи.....	13
1.1.1 Структура експертної системи.....	14
1.1.2 Системи нечіткого виводу.....	15
1.1.3 Базова архітектура систем нечіткого виводу.....	16
1.2 Нейронні мережі.....	20
1.2.1 Структура і функціонування одиночного нейрона.....	21
1.2.2 Модель персептрона.....	23
1.2.3 Модель нейрона з сигмоїдою на виході.....	25
1.2.4 Модель нейрона Хебба.....	27
1.2.5 Структура і функціонування мережі.....	28
1.2.6 Алгоритм зворотного поширення помилки.....	29
1.3 Нейро-нечіткі мережі.....	36
1.4 Інтелектуальні системи управління.....	37
1.4.1 Концепція і визначення поняття інтелектуальної системи.....	37
1.4.2 Структура інтелектуальної системи управління.....	39
1.4.3 Динамічні експертні системи і база знань.....	40
1.4.4 Структура і функції динамічної експертної системи.....	43
1.4.5 Вимоги до ДЕС.....	48
1.4.6 Нейромережеві технології інтелектуальних систем.....	48
1.5 Розробка методів і засобів створення систем управління.....	49
1.5.1 Концепція розвитку методів ІТ для створення гібридних і інтелектуальних систем управління.....	49
1.5.2 Розробка програмно-технічних засобів для промислових інтелектуальних систем управління.....	56
Висновки до розділу.....	60
Список використаних джерел.....	61
РОЗДІЛ 2	
ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ НА ТРАНСПОРТІ (Шмельов Ю.М., к.т.н.)	69
2.1 Бортові системи на рухомому складі.....	70
2.1.1 Автомобільний транспорт.....	70
2.1.2 Залізничний транспорт.....	74
2.1.3 Авіаційний транспорт.....	79
2.1.4 Водний транспорт.....	86
2.1.5 Безпілотні системи.....	95

2.2 Системи управління рухом.....	102
2.2.1 Моніторингові системи	103
2.2.2 Системи позиціонування.....	107
2.2.3 Системи безпеки.....	109
2.2.4 Інформаційні системи.....	111
Висновки до розділу.....	113
Список використаних джерел.....	114

РОЗДІЛ 3

НЕЙРОМЕРЕЖЕВІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БОРТОВИХ СИСТЕМ АВІАЦІЙНОГО ТРАНСПОРТУ (Владов С.І., к.т.н.).....	123
3.1 Загальні відомості. Основні проблеми моніторингу технічного стану авіаційних двигунів вертольотів у польотних режимах.....	123
3.2 Характерні особливості нейромережевої системи автоматизації моніторингу технічного стану авіаційних двигунів вертольотів у польотних режимах.....	136
3.3 Основні параметри нейромережевої системи автоматизації моніторингу технічного стану авіаційних двигунів вертольотів в умовах його бортової експлуатації.....	144
3.4 Узагальнена нейромережева модель авіаційного двигуна вертольоту....	160
3.5 Оптимізація параметрів робочого процесу авіаційних двигунів вертольотів у польотних режимах на основі методу багатокритеріальної оптимізації.....	172
Висновки до розділу.....	195
Список використаних джерел.....	197

РОЗДІЛ 4

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ В ЕКОНОМІЧНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ АВІАКОМПАНІЙ (Петченко М.В., к.е.н., Тельнова Г.В., д.е.н., доцент).....	208
4.1 Роль інформаційних систем в сучасних організаціях та особливості інформаційних систем на авіаційних підприємствах.....	208
4.2 Характеристика інтелектуальних інформаційних систем, як сучасного інструмента економічної діяльності авіакомпаній.....	218
4.3 Аналіз стану авіакомпаній України для виявлення ключових проблем економічної діяльності.....	229
4.4 Компоненти інтелектуальних інформаційних систем в економічній діяльності авіакомпаній.....	239
4.5 Особливості планування ресурсів авіакомпаній та складові ERP.....	247
4.6 Перспективи застосування інтелектуальних інформаційних систем в економічних процесах авіакомпаній.....	261
Висновки до розділу.....	267
Список використаних джерел.....	269

РОЗДІЛ 5

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ГАЛУЗІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ОБЧИСЛЕНЬ (Семенець В.В., д.т.н., професор, Філатов В.О., д.т.н., професор).....

5.1 Реляційні бази даних у завданнях видобування знань.....	275
5.2 Пошук асоціативних залежностей в реляційних базах даних.....	283
5.3 Інтегровані інформаційні системи.....	291
Висновки до розділу.....	294
Список використаних джерел.....	294

РОЗДІЛ 6

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ДІАГНОСТИЦІ В РИНОЛОГІЇ (Аврунін О.Г., д.т.н., професор, Шушляпіна Н.О., к.м.н., доцент).....

6.1 Інформаційні технології при побудові просторових моделей верхніх дихальних шляхів.....	298
6.2 Моделювання аеродинамічних процесів в носовій порожнині.....	307
6.3 Доказові методи до визначення ольфакторно-респіраторних порушень	310
Висновки до розділу.....	315
Список використаних джерел.....	316

ВИСНОВКИ.....	320
----------------------	------------

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- ABS – антиблокувальні системи;
- ACC (adaptive cruise control) – адаптивний круїз контроль;
- AR – розширена реальність;
- B2B – продажі корпораціям;
- B2C – продажі індивідуальним клієнти;
- BPM – управління бізнес-процесами;
- Brakeassist – система допомоги при екстремому гальмуванні;
- BSD (blind spot detection) – системи виявлення сліпої зони;
- CMMS – система управління технічним обслуговуванням;
- CRM – управління відносинами з клієнтами;
- ESP (electronic stability control) – системи підвищення поперечної стійкості;
- FCW (forward collision warning) – системи попередження зіткнень;
- GATO – глобальний оптимізатор повітряного транспорту;
- ІоТ – цифрові технології та інтернет речей;
- LDW (lane departure warning) – система втримання в смузі руху;
- TCAS – система запобігання зіткнень;
- АДЕ – алгоритм діяльності екіпажу;
- АІС – автоматизовані інформаційні системи;
- АСУ – автоматизованої системи управління;
- БД – база даних;
- БЗ – база знань;
- БЦОМ – бортові цифрові обчислювальні машини;
- ВВП – валовий внутрішній продукт;
- ГА – генетичні алгоритми;
- ГЗВ – генеральне завдання вильоту;
- ГЛРУ – глобальні рівні управління;
- ГТД – газотурбінні двигуни;

ДАУ – дистанційно-автоматизоване управління;
ЕС – експертні системи;
ЄЦПТК – єдина цифрова платформа транспортного комплексу;
ІВС СОЕ – інтелектуальна інформаційна система «Ситуаційна обізнаність екіпажу»;
ІС – інтелектуальні інформаційні системи;
ІКП – інформаційно-керуюче поле кабіни;
ІПС – інформаційно-пошукова система;
ІСАУ – інтелектуальні системи автоматичного управління;
ІСТБ – інтелектуальні системи транспортної безпеки;
ІТ – інформаційні технології;
ІТЗ – інструментальні засоби;
ІТС – інтелектуальна транспортна система;
ЛА – літальний апарат;
НДДКР – науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи;
НЛ – нечітка логіка;
НМ – нейронні мережі;
ОПР – особа, що приймає рішення;
ПД – пропорційно-інтегрально-диференціальне регулювання;
ПС – повітряне судно;
РВ – радіовисотомір;
РЛС – радіолокаційна станція;
РП – робоча пам'ять;
САР – система автоматичного регулювання;
САУ – система автоматизованого управління;
СКБД – система керування базами даних;
СКТ – спіральна комп'ютерна томографія;
ТПВ – транспортно-пересадочні вузли;
ШІ – штучний інтелект.

ВСТУП

Висока динамічність усіх суспільних процесів і явищ обумовлює формування нової систем світогляду людства, модифікацію ієрархії потреб і цінностей, викликів до темпів та якості розвитку. Вирішення надскладних завдань, пов'язаних із задоволенням вимог сучасності, вимагає застосування новітніх наукових рішень та інструментів. Відтак рушійними силами шостого інноваційно-технологічного укладу визначають робототехніку, автоматизацію, цифровізацію, основою яких є високі інтелектуальні технології. Сьогодні використання сучасних інтелектуальних технологій, таких як нейронні мережі, глибоке навчання та штучний інтелект, є передумовою проактивного розвитку всіх сфер діяльності людини: медицини, техніки, бізнесу, охорони навколишнього середовища, освіти, транспорту та зв'язку тощо. Таким чином, саме інтелектуалізацію технічних та управлінських систем можна вважати одним із ключових базисів нової парадигми науки та техніки.

Не дивлячись на достатньо високий рівень вивченості інтелектуальних технологій вітчизняними та закордонними науковцями, висока актуальність окресленої проблематики вимагає подальших мультидисциплінарних досліджень, зокрема, перспектив впровадження інтелектуальних систем автоматизації в авіації, в економічній діяльності компаній, на різних видах транспорту, в медицині.

У першому розділі монографії були досліджені етапи теоретичних розробок і практичних застосувань штучного інтелекту в області експертних і проблемно-орієнтованих інтелектуальних систем. Окреслено перспективи його розширення в області штучних когнітивних систем і систем з креативними здібностями.

У другому розділі було вивчено досвід використання інтелектуальних систем автоматизації на різних видах транспорту (залізничному, автомобільному, авіаційному тощо), а також перспективи та передумови

розвитку сучасних інтелектуальних транспортних систем як інноваційного виду бізнесу.

У третьому розділі визначено характерні особливості інтелектуальної нейромережевої системи автоматизації моніторингу та управління експлуатацією технічного стану авіаційних двигунів вертольотів, а також окреслено можливості використання інтелектуальних технологій для вирішення комплексних задач у польотних режимах.

У четвертому розділі були досліджені інтелектуальні інформаційні системи як сучасний інструментарій роботи з системами управління базами економічних даних. Зокрема, окреслено переваги автоматизації економічних процесів в авіакомпаніях.

У п'ятому розділі монографії представлені результати досліджень у галузі інтелектуального аналізу в системах реляційних баз даних, які розв'язують важливе завдання створення, розробки та використання технології інтелектуального аналізу даних і систем нечіткої логіки з метою підвищення ефективності процесів вилучення знань в інтегрованих реляційних базах даних.

У шостому розділі досліджено особливості використання інформаційної моделі представлення даних для завдань комп'ютерного планування ринохірургічних втручань.

До авторського колективу монографії ввійшли: Татарінов В.В. (розділ 1), Шмельов Ю.М. (розділ 2), Владов С.І. (розділ 3), Петченко М.В. (розділ 4), Тельнова Г.В. (розділ 4), Філатов В.О. (розділ 5), Семенець В.В. (розділ 5), Аврунін О.Г. (розділ 6), Шушляпіна Н.О. (розділ 6).

Аврунін Олег Григорович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри біомедичної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки, член науково-методичної ради Харківського національного університету радіоелектроніки, член науково-технічної ради Харківського національного університету радіоелектроніки, заступник голови спеціалізованої вченої ради Харківського національного університету радіоелектроніки, член

ревізійної комісії Асоціації випускників Харківського національного університету радіоелектроніки, Лауреат Державної премії України в галузі освіти 2019 року. Науковий керівник науково-дослідних робіт, що пов'язані з дослідження теоретичних та технічних принципів діагностики, оцінки та корекції медико-соціального стану людини. Науковий керівник міжнародних проектів за програмами DAAD, BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) та Erasmus+. Запрошений професор Ганноверського університету імені Готфріда Вільгельма Лейбніца (Німеччина) та Харбінського інженерного університету (Китай). Член кластеру REBIRTH – програми, що об'єднує лікарів-клініцистів та біомедичних дослідників. Громадська діяльність Заступник голови Науково-методичної підкомісії сектору вищої освіти Науково-методичної ради Міністерства освіти і науки України зі спеціальності 163 «Біомедична інженерія». Член редакційної колегії журналів «Клінічна інформатика і телемедицина», «Радіотехніка», «Фотобіологія та фотомедицина», «Біофізичний вісник». Член ревізійної комісії Асоціації випускників ХНУРЕ. Член Європейської асоціації штучних органів (ESAО), Української асоціації біомедичних інженерів та технологів, представляє ХНУРЕ в Українській Асоціації «Комп'ютерна Медицина». Дійсний член Академії військово-історичних наук та козацтва.

Владов Сергій Ігорович – кандидат технічних наук, завідувач відділення фахової підготовки Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ.

Петченко Марина Валентинівна – кандидатка економічних наук, доцентка кафедри соціальних та економічних дисциплін факультету № 2 Харківського національного університету внутрішніх справ, членкиня Української Асоціації Представниць Правоохоронних Органів УАППО (UAWLE), Асоціації міжнародного освітнього та наукового співробітництва, Всеукраїнської громадської організації «Українська асоціація економістів-міжнародників».

Семенець Валерій Васильович – доктор технічних наук, професор, Ректор Харківського національного університету радіоелектроніки, Голова вченої ради Харківського національного університету радіоелектроніки,, Голова приймальної комісії Харківського національного університету радіоелектроніки,, голова науково-методичної ради Харківського національного університету радіоелектроніки, голова науково-технічної ради Харківського національного університету радіоелектроніки, професор кафедри біомедичної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки, член спеціалізованої вченої ради, IEEE Member, Почесний професор Університету Економіки у Бидгощі, заступник голови Ради ректорів закладів вищої освіти Харківського регіону, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, Лауреат Державної премія України в галузі освіти, Почесний член Громадської організації «Українська Асоціація “Комп’ютерна Медицина”», член Громадської організації «Харківська Академія Стандартизації».

Татарінов Вадим Вадимович – кандидат економічних наук, доцент, директор Кременчуцького інституту ВНЗ «Університету імені Альфреда Нобеля».

Тельнова Ганна Володимирівна – докторка економічних наук, доцентка, старша наукова співробітниця відділу організації наукової роботи та гендерних питань Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ.

Філатов Валентин Олександрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри штучного інтелекту Харківського національного університету радіоелектроніки, Заслужений діяч науки і техніки України, науковий керівник центру інформаційних систем та технологій, Голова спеціалізованої вченої ради, член Президії науково-технічної ради, член редакційної колегії журналу «Сучасний стан наукових досліджень і технологій в промисловості».

Шмельов Юрій Миколайович – кандидат технічних наук, заступник директора з навчально-методичної та виховної роботи Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ.

Шушляпіна Наталія Олегівна – кандидат медичних наук, доцент, доцент кафедри оториноларингології Харківського національного медичного університету.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ

У різних сферах практичної діяльності, пов'язаних з вирішенням завдань управління та контролю, оптимізації та моделювання, пошуку та вибору, розпізнавання та класифікації [1], гостро постала необхідність інтелектуальної підтримки для подолання труднощів в складних ситуаціях і при обмежених ресурсах. Методи та засоби штучного інтелекту доходять до споживача у вигляді інтелектуальних технологій, які практично інваріантні до тієї чи іншої проблемної області [2]. Традиційно до ІТ відносять нечітку логіку (НЛ), генетичні алгоритми (ГА) і нейронні мережі (НМ). ІТ успішно використовуються для створенні складних систем управління. Вимоги до пристроїв управління – забезпечувати надійне управління об'єктом в різних режимах його роботи [3], бути стійким як до різких змін, так і до повільної деградації параметрів системи управління, враховувати можливу наявність шумів і зовнішніх передбачених і непередбачених впливів.

1.1 Експертні системи

До експертних систем (ЕС) відносять системи, що базуються на знаннях, тобто системи, обчислювальна можливість яких є наслідком їх нарощуваної бази знань і тільки в другу чергу визначається методами, які використовуються. Методи інженерії знань (методи ЕС) значною мірою, незалежно від того, в яких областях вони можуть застосовуватися: медицина, військові технології, обчислювальна техніка, електроніка, сільське господарство, математика, космос, менеджмент, бізнес, право, мають спільні принципи та підходи. Зараз ЕС використовуються при вирішенні завдань наступних типів: прийняття рішень в умовах невизначеності (неповноти), трактування символів і сигналів, прогнози, діагностика, конструювання, планування, керування, контроль [4].

1.1.1. Структура експертної системи

Базовими компонентами будь-якої ЕС є (див. рис. 1.1): вирішувач (інтерпретатор), робоча пам'ять (РП), яка може мати назву база даних (БД), база знань (БЗ), елементи набуття знань, діалоговий і пояснювальний блоки.

База даних використовуються для зберігання даних (вихідних і проміжних) розв'язуваного завдання [5]. Термін цілковито співпадає за назвою, але не за сенсом з терміном, що використовуються в інформаційно-пошукових системах (ІПС) і системах керування базами даних (СКБД) [6] для маркування всіх наявних даних, що знаходиться в системі. База знань в ЕС використовується для тривалого зберігання даних, що характеризують досліджувану область (а не поточних даних) [6], і умов, які передбачають доцільні зміни даних цієї області.

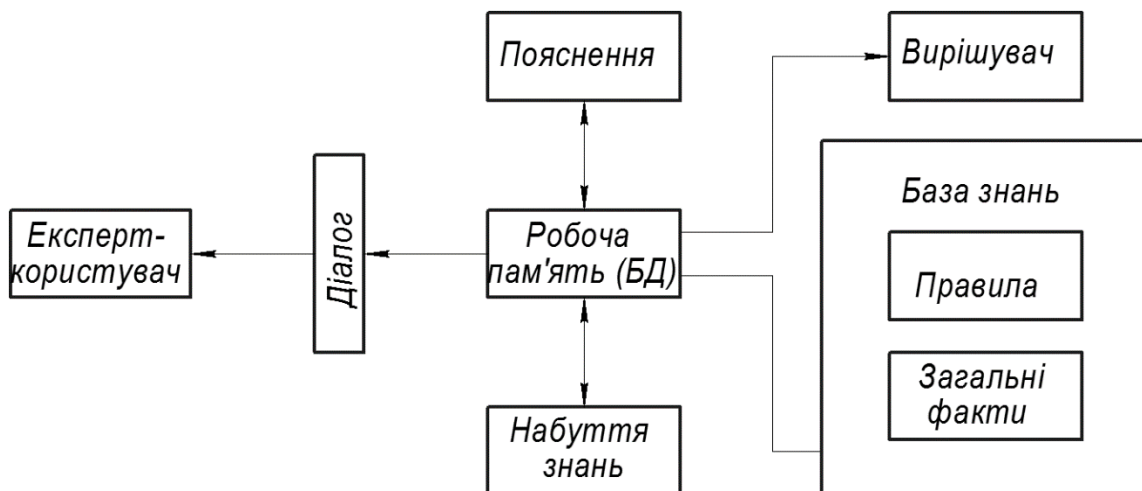


Рисунок 1.1 – Схема узагальненої експертної системи

Вирішувач, оперуючи вихідними даними з БД і знаннями з БЗ, створює необхідну послідовність умов, які, використовуються до вихідних даних [6], призводять до рішення задачі. Компонента придбання знань автоматизує процес наповнення ЕС знаннями, здійснюваний користувачем. Пояснювальна компонента пояснює, як система одержала вирішення задачі (або відсутність рішення) та які знання при цьому вона використала, що спрощує експерт-

тестування системи та збільшує довіру користувача до одержання результату. Діалогова компонента орієнтована на доброзичливе спілкування з усіма категоріями користувачів як під час вирішення завдань [6], так і під час набуття знань, пояснення результатів.

До створення ЕС долучаються представники широкого спектру спеціальностей: експерт проблемної галузі, проблеми якої буде вирішувати ЕС; інженер-когнітолог – фахівець з розробки ЕС; програміст – фахівець з розробки інструментальних засобів (ІТЗ) [7]. Потрібно відзначити, що не включення в перелік учасників розробки когнітолога найчастіше призводить до невдачі в процесі розробки ЕС або значно збільшує термін можливої реалізації.

Значна кількість існуючих ЕС базується на припущенні незмінності предметної галузі та вирішують лише статичні завдання [8], такі системи носять назву статичних. ЕС, які використовуються для роботи з динамічними предметними галузі та займаються вирішенням статичних або динамічних завдань, називаються динамічними. Вирішення найголовніших практичних неструктурованих завдань може бути тільки за використання динамічних, а не статичних ЕС. Статична ЕС співпадає з традиційною схемою (див. рис. 1.1) [9].

1.1.2. Системи нечіткого виводу

Головне місце в нечіткій логіці та відповідних системах керування посідає нечіткий висновок. Процес нечіткого виведення являє собою послідовність здобуття нечітких висновків з урахуванням нечітких умов або передумов за допомогою використання понять і принципів нечіткої логіки. Цей процес об'єднує в собі всі основні концепції теорії нечітких множин: функції приналежності, лінгвістичні змінні, нечіткі логічні операції, методи нечіткої імплікації та нечіткі композиції [10].

Системи нечіткого виводу використовуються для реалізації процесу нечіткого виведення і служать світоглядним базисом усієї існуючої нечіткої логіки. Досягнуті успіхи в застосуванні цих систем для вирішення значного

класу задач керування стали основою становлення нечіткої логіки як прикладної науки з широким спектром додатків. Системи нечіткого виводу дозволяють вирішувати задачі автоматичного управління, групування даних, розрізнення образів, прийняття рішень, роботизованого навчання та багато інших.

Враховуючи те що розробка та використання систем нечіткого виводу має міжгалузевий характер, даний напрямок досліджень тісно пов'язаний з широким колом інших науково-прикладних напрямків, таких як: нечітке моделювання, нечіткі експертні системи, нечітка асоціативна пам'ять, нечіткі логічні контролери, нечіткі регулятори та просто нечіткі системи [11].

1.1.3. Базова архітектура систем нечіткого виводу

Системи нечіткого виводу – це окремий випадок продукційних нечітких систем або систем нечітких правил продукції, в яких вимоги та висновок окремих правил формуються в вигляді нечітких висловлювань за значеннями, так як ті чи інші лінгвістичні висловлювання мають базисне значення в контексті існуючої нечіткої логіки.

Нечіткими лінгвістичними висловлюваннями називаються висловлювання наступних видів [12].

Вислів « $b \in a$ », де b – назва лінгвістичної змінної, a – відповідне значення, якому відповідає окремий лінгвістичний терм з базової терм-множини T лінгвістичної змінної b .

Вираз « $b \in Na$ », де N – це модифікатор, який відповідає виразам: «ДУЖЕ», «БІЛЬШ АБО МЕНШ», «БАГАТО БІЛЬШЕ» та іншим, які отримуються за допомогою процедур G і M даної лінгвістичної змінної.

Частини висловлювання, отримані з висловлювань попередніх видів і нечітких логічних операцій в формі зв'язок: «І», «АБО», «ЯКЩО-ТО», «НЕ».

З урахуванням, що в системах нечіткого виведення нечіткі лінгвістичні висловлювання займають головне місце, вигідно використовувати адаптоване

формулювання «нечіткі висловлювання».

Прикладом нечіткого висловлювання слугує «тиск мастила високий», в рамках якого лінгвістичної змінної «тиск мастила» присвоюється значення «високий». При цьому передбачається, що на універсальній множині X змінної «тиск мастила» визначено відповідний лінгвістичний терм «високий» модифікатором «ДУЖЕ», який змінює відповідний лінгвістичний терм «високий» на основі використання деякої розрахункової формули, наприклад для операції концентрації $CON(A)$ нечіткого безлічі A для терма «високий».

Змінної «тиск мастила» присвоюється значення «високий», а іншій лінгвістичній змінній «відстань до пресової матриці» присвоюється значення «близьке». Ці нечіткі висловлювання з'єднані логічною операцією нечітка кон'юнкція (операції нечітке «І»).

Правила нечітких продукцій в системах нечіткого виведення.

Система нечіткого виведення виступає окремим прикладом продукційних нечітких систем або систем нечітких умов продукції. Основна особливість нечітких правил формуються у вигляді нечітких висловлювань щодо значень тих чи інших лінгвістичних змінних.

Спрощений варіант правила нечіткої продукції, який функціонує в системах нечіткого виведення:

$$RULE \langle \# \rangle: IF \text{ " } \beta_1 \in \alpha \text{ " }, THEN \text{ " } \beta_2 \in \alpha \text{ " } . \quad (1.1)$$

Нечітке висловлювання $\text{ " } \beta_1 \in \alpha \text{ " }$ вимога даного правила нечіткої продукції, а нечітке висловлювання $\text{ " } \beta_2 \in \alpha \text{ " }$ – нечітке закінчення вказаного правила. При цьому $\beta_1 \neq \beta_2$.

Основні процедури що виконуються в системах нечіткого виведення.

Фазифікація – процедура заміни чіткої входної змінної нечіткою формою за рахунок функцій належності [13].

Завданням фазифікації є визначення відповідності між визначеним (зазвичай – чисельним) значенням деякої входної змінної системи нечіткого

виведення та значенням функції приналежності відповідного їй терма вхідної лінгвістичної змінної. По завершенню цього етапу для всіх вхідних змінних повинні мати конкретні значення функцій приналежності за кожним з лінгвістичних термів, що задіяні в проміжних умовах бази правил системи нечіткого виведення.

Агрегування є процедурою визначення ступеню достовірності умов за кожним з правил пропонованої системи нечіткого виведення [13].

Процедура агрегування здійснюється наступним чином. На початку даного етапу відбувається встановлення значень достовірності всіх проміжних систем нечіткого виведення, тобто безліч значень $B = \{b_i'\}$. Наступним є перевірка кожної з умов правил системи нечіткого виведення. Якщо умова правила визначена як «нечітке висловлювання», то ступінь його достовірності дорівнює відповідному значенню b_i' .

Якщо умова складається з декількох проміжних умов, при цьому лінгвістичні змінні в проміжних умовах попарно не дорівнюють один одному, то визначається ступінь достовірності складного висловлювання на базі відомих значень достовірності проміжних умов. Для визначення результату нечіткої кон'юнкції або зв'язки "І" використовується формула перетину нечітких множин, а для визначення показника нечіткої диз'юнкції або зв'язки «АБО» може бути використана формула сумачії нечітких множин. За цієї умови b_i' використовується як аргумент відповідних логічних операцій. За рахунок цього знаходяться кількісні значення достовірності всіх умов правил системи нечіткого виведення.

Закінчення етапу агрегування відбувається тоді, коли будуть визначені всі значення b_i'' для кожного з правил, які включені до даної бази правил системи нечіткого виведення.

Активізація – це процедура чи процес визначення ступеня достовірності всіх висновків правил нечітких продукцій [14]. Активізація в цілому суттєво

подібна до композиції нечітких відносин, але не еквівалентна їй. У системах нечіткого виведення застосовуються лінгвістичні змінні, котрі втрачають своє значення як результат формули для нечіткої композиції. При створенні баз правил системи нечіткого виведення визначаються вагові коефіцієнти F_i для кожного правила. Процедура активізації здійснюється за наступною послідовністю. До виконання цього етапу необхідним є визначення достовірності значення всіх правил системи нечіткого виведення, тобто значень $B'' = \{b_i''\}$ і значення вагових коефіцієнтів F_i для кожного правила. Наступним розглядається кожне з рішень правил системи нечіткого виведення.

У випадку, коли висновок складається з кількох проміжних висновків, причому лінгвістичні змінні в проміжних висновках попарно не рівні один одному, то ступінь достовірності кожного з проміжних висновків дорівнює алгебраїчному добутку відповідного значення b_i'' на ваговий коефіцієнт F_i . За цим методом визначаються всі значення ступенів достовірності проміжних висновків для кожного з правил, що включені в базу правил системи нечіткого виведення. Ці значення позначаються як $C = \{c_1, c_2, \dots, c_q\}$, де q – сумарна кількість проміжних висновків в базі правил.

По завершенню етапу пошуку значень $C = \{c_1, c_2, \dots, c_q\}$ визначаються функції належності кожного з проміжних висновків для досліджуваних вихідних лінгвістичних змінних. За для цього можливо використання одного з існуючих методів, які є модифікацією методів нечіткої композиції:

$$\text{min-активізації} \quad \mu'(y) = \min \{c_i, \mu(y)\} \quad (1.2)$$

$$\text{prod- активізації:} \quad \mu'(y) = c_i \cdot \mu(y) \quad (1.3)$$

$$\text{average- активізації:} \quad \mu'(y) = 0,5 + (c_i + \mu(y)) \quad (1.4)$$

Етап активізації є завершеним, у випадку коли для всіх вихідних лінгвістичних змінних, що є складовими в кожному конкретному проміжному висновку правил нечітких продукцій, отримують значення функції приналежності нечітких множин їх еквівалентів, сукупність нечітких множин:

c_1, c_2, \dots, c_q , де q загальна кількість проміжних висновків в базі правил системи нечіткого виведення.

Акумуляція є процедурою або процесом знаходження функції для кожної з вихідних лінгвістичних змінних множин [15] $W = \{w_1, w_2, \dots, w_q\}$. Пріоритетним завданням акумуляції є поєднання або акумулювання всіх ступенів достовірності висновків (проміжних висновків) для отримання функції причетності кожної з вихідних змінних. Необхідність виконання цього етапу полягає в тому щоб проміжні висновки, що належать до відповідних вихідних лінгвістичних змінних, відповідали різним правилам системи нечіткого виведення.

Послідовність проведення процедури акумуляції наступна. На початку етапу передбачаються відомі значення достовірності всіх підзвітних для кожного з правил R_k , що знаходяться у розглянутій основі правил R системи нечіткого виводу, у формі сукупності нечітких множин: C_1, C_2, \dots, C_q , де q – загальна кількість підключених у базі правила далеко наслідок аналізується кожна з вихідних лінгвістичних змінних $w_j \in W$ і відноситься до неймовірних множин: $C_{j1}, C_{j2}, \dots, C_{jq}$. Результат етапу для вихідної лінгвістичної змінної w_j визначає як з'єднання нечітких множин $C_{j1}, C_{j2}, \dots, C_{jq}$ за загальною формулою.

Акумуляція є закінченою у випадку, коли для всіх вихідних лінгвістичних змінних будуть визначені результуючі функції приналежності нечітких множин їх значень. Сукупність нечітких множин: C_1', C_2', \dots, C_s' , де s – загальна кількість вихідних лінгвістичних змінних в базі правил системи нечіткого виведення.

1.2 Нейронні мережі

Нейронна мережа (НМ) – це розподілений паралельний процес, що складається з елементарних одиниць обробки інформації [16], що накопичують

експериментальні знання та надають їх для подальшої обробки. Нейронна мережа отримує інформацію з навколишнього середовища і використовує її в процесі навчання. Для накопичення знань застосовуються зв'язки між нейронами, які носять назву синоптичних ваг.

1.2.1 Структура і функціонування одиночного нейрона

Базова одиниця нервової системи – нервова клітина, що носить назву нейрон [17]. На рис. 1.2 зображена спрощена модель одиночного елемента нервової системи.

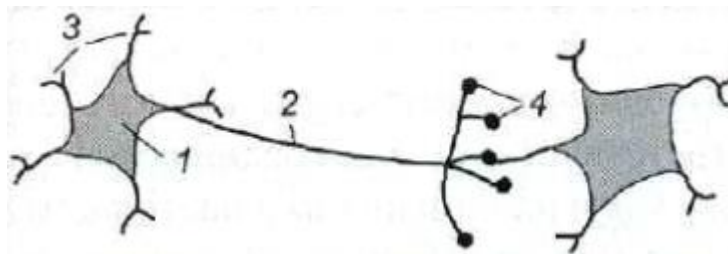


Рисунок 1.2 – Модель нейрона і його з'єднання з сусіднім нейроном: 1 – тіло клітини; 2 – аксон; 3 – дендрити; 4 – синапси

Складовими частинами нейрона є тіло клітини та два види відростків: вхідні (дендрити) і вихідні (аксони). Кількість вихідних відростків є фіксованою та складає один канал, за допомогою якого відбувається передача інформації до інших нейронів [18].

У загальному випадку нейрон сприймає збудження від значної кількості нейронів (в окремих випадках понад тисячі). Головний мозок людини складається з близько 10^{11} нейронів, які комунікують між собою через мільйони з'єднань. Кожен нейрон виконує функцію передачі збудження інших нейронів за допомогою нервових стиків, синапсів, в основі якої лежать складні електрохімічні процеси. Головним завданням синапсів є виконання ролі репітерів інформації, що призводить до посилення або послаблення сигналу,

який подорожує нервовою системою. В результаті до нейрона приходять одночасно сигнали, які мають збудливий та гальмівний вплив. Нейрон сумує збуджуючі та гальмуючі імпульси та у випадку, якщо результат перевищує пороговий показник, сигнал з виходу нейрона пересилається за допомогою аксона до інших нейронів.

Для опису моделі нейрона прийняті наступні позначення: n – кількість каналів отримання інформації нейроном; x_1, \dots, x_n – вхідні сигнали, $x = [x_1, \dots, x_n]^T$; $\omega_0, \dots, \omega_n$ – синапчні ваги, $\omega = [\omega_0, \dots, \omega_n]^T$; y – вихідний сигнал нейрона; ω_0 – порогове значення; f – функція активації [19].

Формула, яка описує процес функціонування нейрона:

$$y = f(s), \tag{1.5}$$

де $s = \sum_{i=1}^n x_i w_i$.

Схема імітаційної моделі нейрона приведена на рис. 1.3.

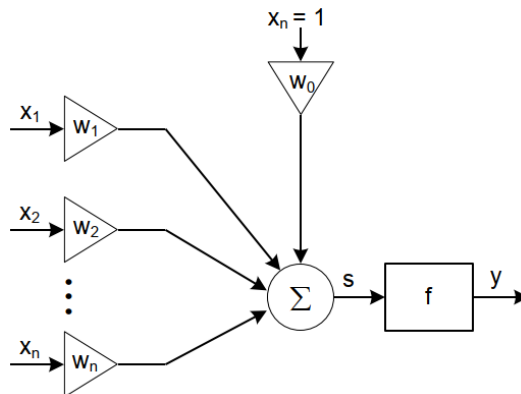


Рисунок 1.3 – Схема моделі нейрона

Функція активації нейрона f приймає різні форми залежно від запропонованої імітаційної моделі. Робота нейрона описується наступним чином. На першому етапі нейрон отримує вхідні сигнали x_0, x_1, \dots, x_n , які множаться на відповідні їм ваги $\omega_0, \omega_1, \dots, \omega_n$. Отримані значення сумуються. Після чого

виникає сигнал s , який зображає функціонування лінійної частини нейрона. Далі цей сигнал поступає на етап активації, який найчастіше має нелінійний характер. Значення сигналу x_0 дорівнює 1, а вага ω_0 перевищує порогове значення. Найбільшим феноменом нейрону є легке навчання, що зводиться до підбору значень ваг [20].

Штучні нейронні мережі використовують конкретні модифікації приведеної моделі. Штучні нервові клітини поєднуються між собою в існуючих моделях за тими ж принципами, що й їх прототипи в людському мозку.

1.2.2 Модель перцептрона

Функціонування перцептрона описується виразом [21] (рис 1.4):

$$y = f\left(\sum_{i=1}^n x_i \omega_i + \theta\right). \quad (1.6)$$

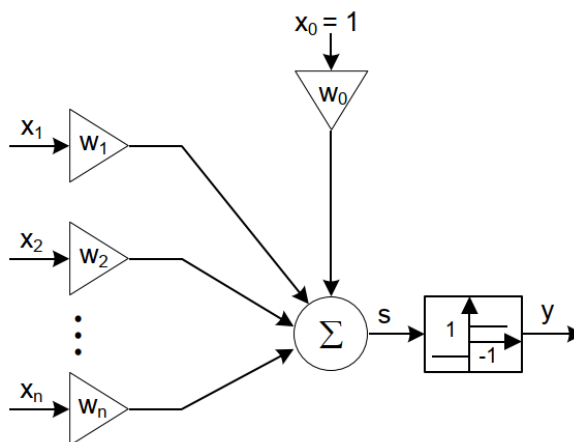


Рисунок 1.4 – Структура перцептрона

Функція f є дискретною ступінчастою функцією – біполярною (можливі значення -1 або 1):

$$f(s) = \begin{cases} 1, & \text{для } s > 0, \\ -1, & \text{для } s \leq 0. \end{cases} \quad (1.7)$$

На етапі активації перцептрон може приймати тільки два діаметрально

протилежні вихідні значення, тому класифікація сигналу, що потрапляє на його вхід, здійснюється у вигляді векторів $x \sim [x_1, \dots, x_n]^T$. Наприклад, нейрон перцептрон, що має один вхідний канал, може розпізнавати сигнал або позитивним або негативним.

У навчанні мережі постійно відбувається процес модифікації ваги перцептрона. Метод навчання перцептрона отримав назву «навчання з учителем» або «навчання під наглядом» [22]. Завдання вчителя є подача на вхід перцептрона сигналів $x(t) = [x_0(t), x_1(t), \dots, x_n(t)]^T$, $t = 1, 2, \dots$, для яких відомі істинні значення вихідних сигналів $d(t)$, $t = 1, 2, \dots$, званих еталонними сигналами [23].

Групи таких вхідних вибірок і відповідних їм значень еталонних сигналів називається навчальною послідовністю [23]. При використанні методів даної групи після введення вхідних значень розраховується вихідний сигнал нейрона. По завершенню відбувається модифікація ваг з метою мінімізації похибки між еталонним сигналом і вихідним сигналом перцептрона. Актуальний алгоритм навчання перцептрона виглядає наступним чином:

- задати початковим вагам перцептрона довільні значення;
- на вхідні канали нейрона подати навчальний вектор $x = x(t) = [x_0(t), x_1(t), \dots, x_n(t)]^T$, $t = 1, 2, \dots$;
- підрахувати вихідне значення перцептрона за формулою (1.6);
- отримане вихідне значення $y(t)$ порівняти з еталонним значенням $d(x(t))$, що знаходиться в навчальній послідовності;
- модифікувати ваги наступним чином:
 - а) якщо $y(x(t)) \neq d(x(t))$, то $w_i(t+1) = w_i(t) + d(x(t)) x_i(t)$;
 - б) якщо $y(x(t)) = d(x(t))$, то $w_i(t+1) = w_i(t)$, тобто значення ваг не змінюються;
- перейти до кроку 2.

1.2.3 Модель нейрона з сигмоїдою на виході

Структура нейрона з сигмоїдою на виході ідентична структурі персептрона. Зміна назви обумовлена функцією активації, яка має форму сигмоїдальної з уніполярною або біполярною функцією. Це безперервні функції, що описуються виразами [24]:

уніполярна функція

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\beta x}} \quad (1.8)$$

біполярна функція

$$f(s) = \begin{cases} 1, & \text{для } s > 0, \\ -1, & \text{для } s \leq 0. \end{cases} \quad (1.9)$$

На рис. 1.5 приведені графіки уніполярних функцій при різних значеннях параметра бета. Простий аналіз отриманих результатів дозволяє зробити висновок, що при малих значеннях параметра бета функція має пологий характер, але з ростом значення цього параметра графік стає більш вертикальним аж до здобуття порогового виду.

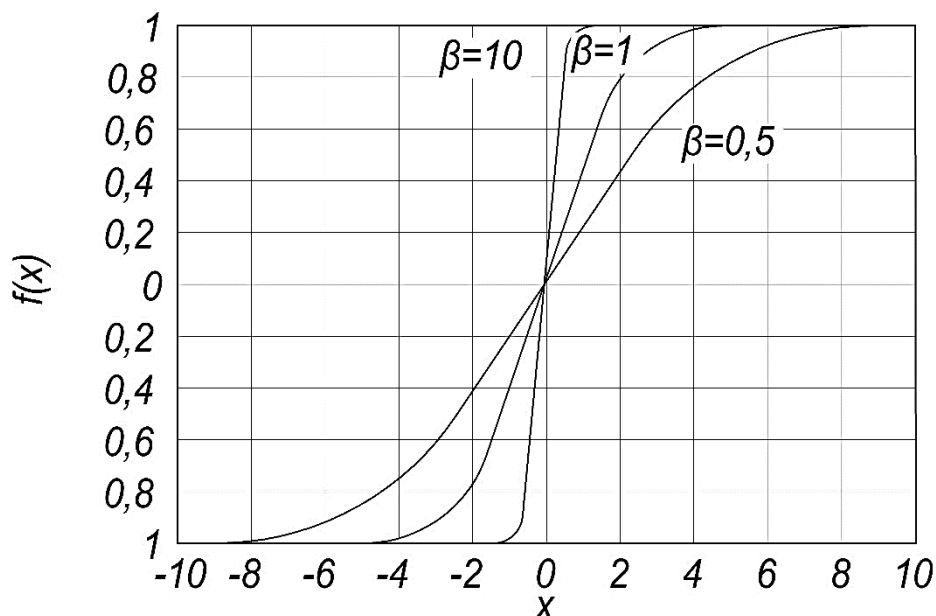


Рисунок 1.5 – Графік уніполярної функції активації при різних значеннях параметра β

Головною перевагою сигмоїдальних нейронів вважається диференційована функція активації [24]. Також похідні цих функцій легко знаходяться, оскільки вони набувають досить простих форм:

– для уніполярної функції:

$$\frac{df(x)}{dx} = \beta f(1)(1 - (x)) \quad (1.10)$$

– для біполярної функції:

$$\frac{df(x)}{dx} = \beta(1 - f^2(x)) \quad (1.11)$$

Структура нейрона з сигмоїдою на виході представлена на рисунку 1.6.

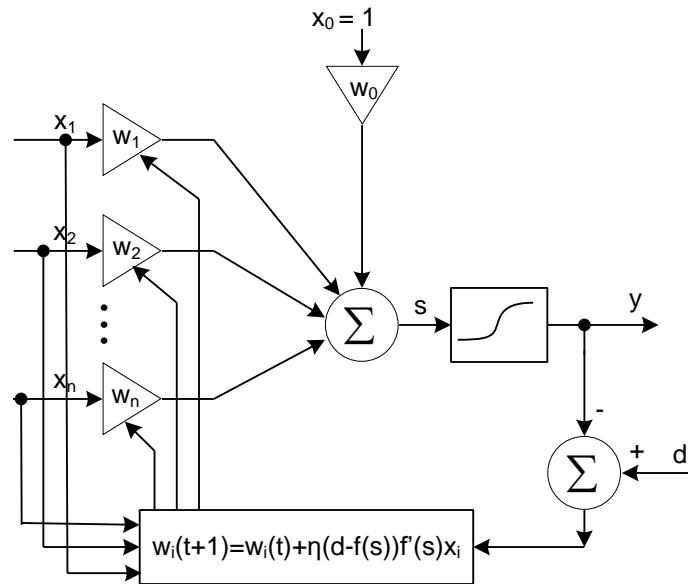


Рисунок 1.6 – Структура нейрона з сигмоїдою на виході

Вихідний сигнал описується виразом:

$$y(t) = f\left(\sum_{i=0}^n w_i(t)x_i(t)\right). \quad (1.12)$$

Величина похибки визначається:

$$Q(w) = \frac{1}{2} \left[d - f\left(\sum_{i=0}^n w_i x_i\right) \right]^2 \quad (1.13)$$

1.2.4 Модель нейрона Хебба

На рис. 1.7 зображена схема моделі нейрона Хебба. Вона ідентична структурам моделей типу нейрона з сигмоїд на виході, однак відрізняється специфічним методом навчання, так званим правилом Хебба. Розроблено два варіанта правила Хебба: «з учителем» і «без учителя». Хебб в процесі досліджень звернув увагу, що зв'язки між двома нейронами посилюються, якщо вони активізуються синхронно [25].

Хебб розробив алгоритм, в якому ваги модифікуються за наступною формулою:

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \Delta w_i, \quad (1.14)$$

Звідси випливає:

$$\Delta w_i = \eta y x_i. \quad (1.15)$$

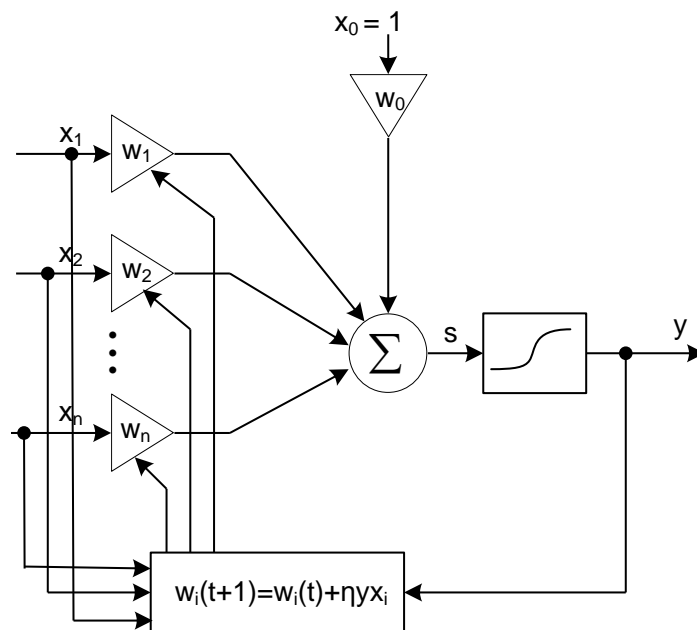


Рисунок 1.7 – Структура нейрона Хебба

Під час навчання одиночного нейрона відбувається модифікація значення ваги пропорційно значення сигналу, поданого на i -й вхід клітини, так і значення

вихідного сигналу, що враховує коефіцієнт навчання.

При такому навчанні нейрона не задіяні еталонні вихідні значення, даний метод називається метод «навчання без учителя». Невелика модифікація залежності (1.15) приводить до другого методу навчання нейрона Хебба – «навчання з учителем»:

$$\Delta w_i = \eta x_i d, \quad (1.16)$$

де d – еталонний сигнал.

Необхідно зазначити, що алгоритм Хебба має недолік – значення ваг не мають обмежень на збільшення. Для усунення цього недоліку в літературі пропонуються різні модифікації правила [26].

1.2.5 Структура і функціонування мережі

Багатошаровими нейронними мережами називаються структури що складаються не менше як з двох прошарків: вхідний і вихідний. До складу мереж можуть буди включені проміжні, приховані шари.

У випадку, коли мережа складається лише з двох шарів, то вхідний шар прирівнюється до прихованого шару. В багатошарових нейронних мережах обмін сигналами здійснюється тільки нейронами, які не розташовані в одному шарі.

У межах одного шару взаємодії нейронів не відбувається. Інформація передається від вхідного шару до вихідного, функція зворотного зв'язку відсутня. Структура односпрямованої тришарової мережі приведена на рис. 1.8 [27].

Другою назвою методу «навчання з учителем» є навчання під наглядом. Навчання відбувається в наступний спосіб: спочатку вхідні значення з навчальної послідовності подаються на вхід мережі, після чого послідовно розраховуються вихідні значення кожного нейрона від вхідного до вихідного шару.

Далі визначається реакція мережі на сигнал, отриманий на її вхід.

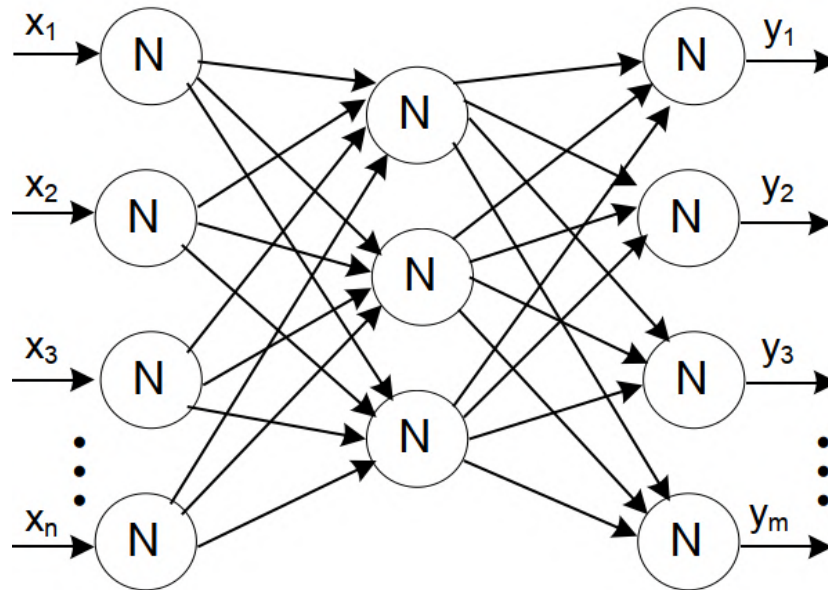


Рисунок 1.8 – Структура тришарової нейронної мережі

Необхідно так модифікувати ваги мережі, щоб вихідне значення максимально досягло базового значення. Це і є головна ідея алгоритмів розглянутого класу, оскільки «вчитель» зазначає, якою має бути реакція мережі.

1.2.6 Алгоритм зворотного поширення помилки

У більшості випадків навчання відбувається наступним чином: підраховується сума створених вхідних сигналів та відповідні їм ваги. Наступним етапом є передача на вхід обраної функції активації, по виконанню якої з'являвся вихідний сигнал нейрона. Для визначення похибки сигналу необхідно підрахувати різницю між фактичним вихідним значенням і еталонним значенням. Так само розраховуються похибки всіх інших шарів в багатошарових мережах. Складнощі виникають лише з визначенням похибок в прихованих шарах, так як вчителю не відомі еталонні значення на виходах нейронів, що знаходяться в цих елементах мережі.

Цю проблему вирішують за допомогою технології зворотного поширення

помилки [28-30], яка ефективно вирішує завдання навчання багатошарових нейронних мереж. Для складання цього алгоритму необхідно формально зазначити відповідну величину похибки. Вона являє собою функцію $Q(w)$ щодо вектору (вектор всіх ваг мережі), в якій в ролі змінних виступають всі ваги багатошарової нейронної мережі. Розкладання функції $Q(w)$ в ряд Тейлора в безпосередній близькості від відомого фактичного рішення в напрямку p має такий вигляд [28]:

$$Q(w+p) = Q(w) + [g(w)]^T p + 0,5 p^T H(w) p + \dots, \quad (1.17)$$

де $g(w)$ позначає вектор градієнта:

$$g(w) = \left[\frac{\partial Q}{\partial w_1}, \frac{\partial Q}{\partial w_2}, \frac{\partial Q}{\partial w_3}, \dots, \frac{\partial Q}{\partial w_n} \right]^T, \quad (1.18)$$

$H(w)$ – гессіан, матриця других похідних:

$$H(w) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 Q}{\partial w_1 \partial w_1} & \dots & \frac{\partial^2 Q}{\partial w_1 \partial w_n} \\ \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial^2 Q}{\partial w_n \partial w_1} & \dots & \frac{\partial^2 Q}{\partial w_n \partial w_n} \end{bmatrix}. \quad (1.19)$$

Ваги модифікуються за формулою:

$$w(t+1) = w(t) + \eta(t)p(t), \quad (1.20)$$

де η – коефіцієнт навчання.

Ваги можуть модифікуватися тривалий час, до моменту, поки функція не досягне мінімуму або її значення не стане меншим за значення порогового показника. Завдання сконцентроване на пошуку вектору, це забезпечує зменшення похибки на виході мережі та на чергових кроках алгоритму. Це означає, що на наступних етапах має виконуватися нерівність. Обмеження ряду Тейлора, апроксимуючого функцію похибки лінійним розкладом, має вигляд [31]:

$$Q(w + p) = Q(w) + [g(w)]^T p. \quad (1.21)$$

Залежність функції $Q(w)$ від вагів, які розташовані на кроці t , а $Q(w+p)$ –

від вагів, розташованих на кроці $(t+1)$, тоді для вирішення нерівності $Q(w(t+1)) < Q(w(t))$ досить вибрати вектор $p(t)$, при якому $g(w(t))^T p(t) < 0$, ця умова виконується при:

$$p(t) = -g(w(t)). \quad (1.22)$$

При включенні формули (1.22) в залежність (1.20) буде отримано наступний вираз для визначення зміни вагів в багатошарових мережах:

$$w(t+1) = w(t) - \eta g(w(t)). \quad (1.23)$$

Залежність (1.23) носить назву «правило найшвидшого спуску». Для використання виразу (1.23) з максимальною ефективністю з метою отримання алгоритму зворотного розповсюдження помилки необхідно ввести відповідне позначення. Структура мережі приведена на рис. 1.9. У всіх шарах знаходиться N_k елементів, $k = 1, \dots, L$, позначених як N_i^k , $i = 1, \dots, N_k$. Елементи N_i^k – це окремі нейрони, кожен з них може мати сигмоїду на виході. Зображена нейронна мережа має N_0 входів, на які надходять сигнали $x_1(t), \dots, x_{N_0}(t)$, що задаються в векторній формі:

$$x = [x_1(t), \dots, x_{N_0}(t)]^T, \quad t = 1, 2, \quad (1.24)$$

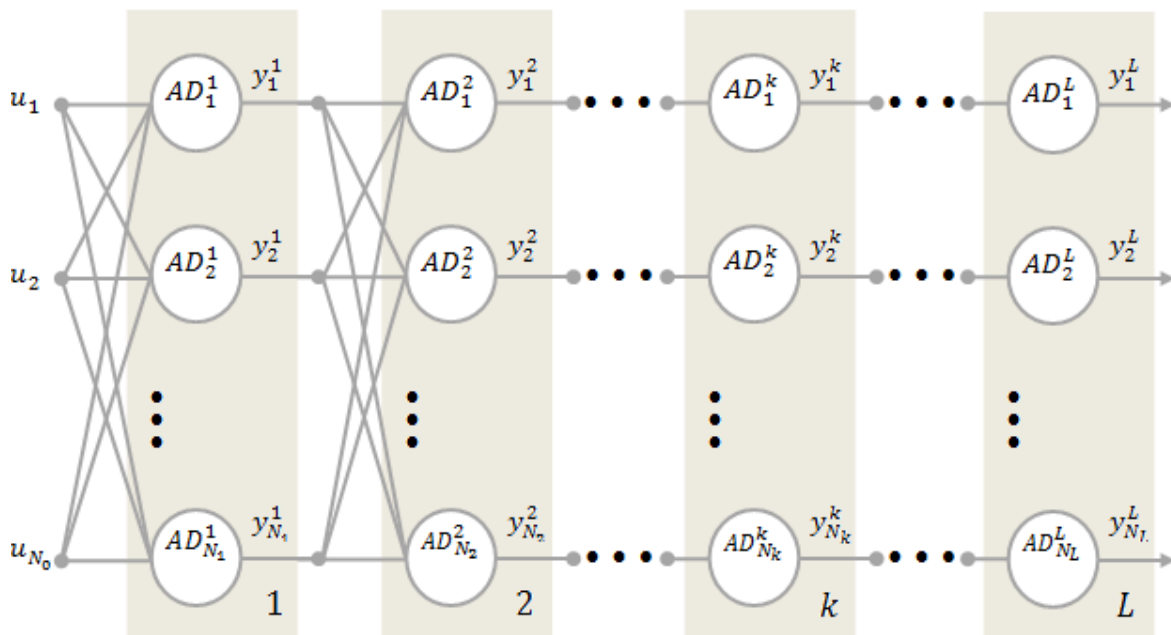


Рисунок 1.9 – Багатошарова нейронна мережа

Вихідний сигнал i -го нейрона в k -м шарі позначається $y_i^{(k)}(t)$, $i = 1, \dots, N_k$, $k = 1, \dots, L$. На рис. 1.10 зображена розгорнута структура i -го нейрона в k -ому шарі. Нейрон N_i^k має N_k входів, що утворюють вектор [32]:

$$x^{(k)}(t) = [x_{01^{(k)}}(t), \dots, x_{iN_{k-1}^{(k)}}(t)]^T, \quad (1.25)$$

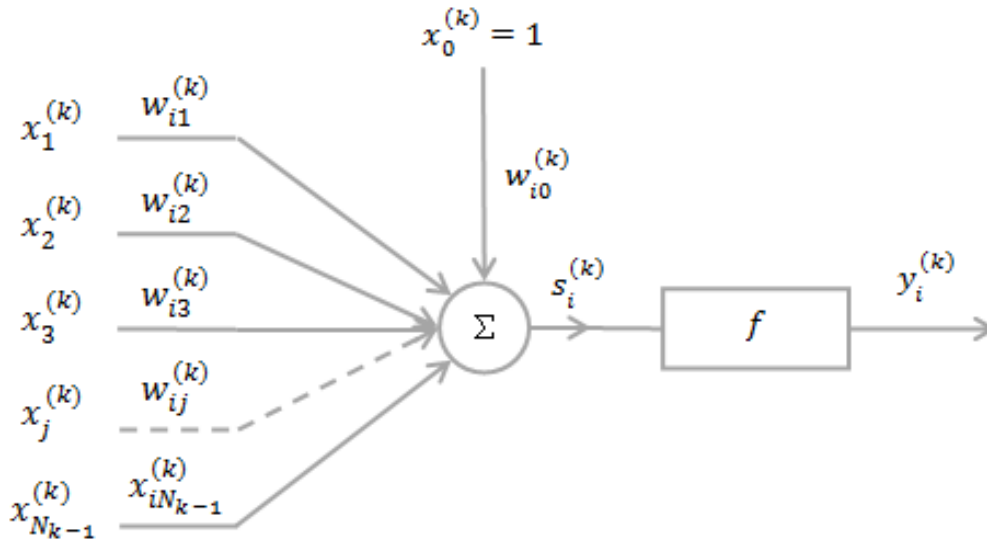


Рисунок 1.10 – Структура нейрона

Вхідний сигнал нейрона N_i пов'язаний з вихідним сигналом $(k-1)$ -го шару наступним чином:

$$x_i^{(k)}(t) = \begin{cases} x_i(t) & \text{для } k = 1, \\ y_i^{(k-1)}(t) & \text{для } k = 2, \dots, L, \\ +1 & \text{для } i = 0, k = 1, \dots, L. \end{cases} \quad (1.26)$$

На рис. 1.10 за допомогою символу (i) позначена вага входу до i -го нейрона, $I = 1, \dots, I_k$, розташованого в k -му шарі, який з'єднує цей нейрон з u -м вхідним сигналом. Вектор ваг нейрона буде визначатися:

$$w_i^{(k)}(t) = [w_{i,0}^{(k)}(t), \dots, w_{iN_{k-1}}^{(k)}(t)]^T, \quad k=1, \dots, L, \quad i = 1, \dots, N_k. \quad (1.27)$$

Вихідний сигнал нейрона в момент $N_i^k = 1, 2, \dots$ визначається як:

$$y_i^{(k)}(t) = f(s_i^{(k)}(t)) \quad (1.28)$$

причому

$$s_i^{(k)}(t) = \sum_{j=0}^{N_{k-1}} w_{ij}^{(k)}(t) x_j^{(k)}(t). \quad (1.29)$$

Вихідні сигнали нейронів L-го шару:

$$y_1^L(t), y_2^L(t), \dots, y_{N_L}^L(t) \quad (1.30)$$

одночасно є вихідними сигналами мережі в цілому. Вони порівнюються з так званими еталонними сигналами мережі

$$d_1^L(t), d_2^L(t), \dots, d_{N_L}^L(t). \quad (1.31)$$

У результаті алгоритм зворотного поширення помилки можна записати у вигляді [33]:

$$y_i^{(k)}(t) = f'(s_i^{(k)}(t)), \quad s_i^{(k)}(t) = \sum_{j=0}^{N_{k+1}} w_{ij}^{(k)}(t) x_j^{(k)}(t); \quad (1.32)$$

$$Q_i^{(k)}(t) = \begin{cases} d_i^{(L)}(t) - y_i^{(L)}(t) & \text{для } k = L, \\ \sum_{m=1}^{N_{k+1}} \delta_m^{(k+1)}(t) w_{mi}^{(k+1)}(t) & \text{для } k = 1, \dots, L-1; \end{cases} \quad (1.33)$$

$$\delta_i^{(k)}(t) = \varepsilon_i^{(k)}(t) f'(s_i^{(k)}(t)); \quad (1.35)$$

$$w_{ij}^{(k)}(t+1) = w_{ij}^{(k)}(t) + 2\eta \delta_i^{(k)}(t) x_j^{(k)}(t). \quad (1.36)$$

При навчанні нейрону методом зворотного поширення помилки мережа модифікує його вагу кожного разу при подачі на її вхід навчального вектору. Такий підхід називається поступовою актуалізацією ваг, але розроблений інший спосіб: на вхід мережі послідовно подаються навчальні вектори, проводяться розрахунки відповідних сигналів на виході мережі, по завершенню відбувається порівняння з еталонними значеннями та підсумовуються похибки кожної ітерації. По закінченню кожної епохи відбувається пред'явлення навчальних вибірок з послідовним коригуванням значень всіх ваг з урахуванням накопиченого значення похибки. Цей спосіб носить назву кумулятивна актуалізація ваг.

Важливим аспектом є процес ініціалізація ваг мережі. Максимальна близькість стартових значення ваг до оптимальних призводить до швидкого

завершення навчання. Навчання мережі – це шлях пошуку мінімуму функції похибки. Це функція кількох змінних, в ролі яких виступають показники ваг мережі. На рисунку 1.11 показано гіпотетичний графік функції похибки для однієї змінної (однієї ваги).

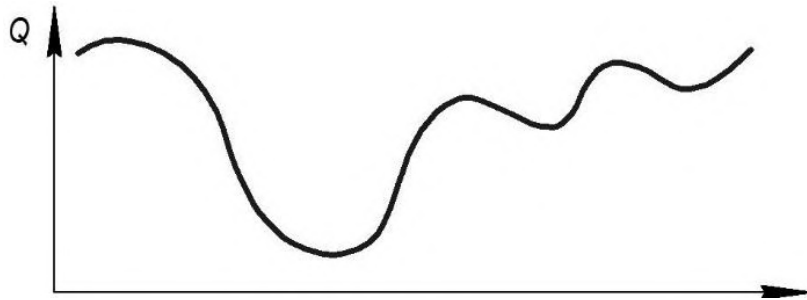


Рисунок 1.11 – Теоретична функція похибки однієї змінної

Недоліком методу найшвидшого спуску є наявність кількох локальних мінімумів, при цьому алгоритм пошуку рішення сходиться до одного з них. Тому більш популярний модифікований алгоритм зворотного поширення помилки [34].

Найпримітивнішим способом, що вирішує недолік локальних мінімумів, є використання різних стартових значень ваг для навчання нейронної мережі [35]. Величини ваг обираються довільним чином з встановленого інтервалу з використанням рівномірного розподілу. Потім нейронна мережа застосовує алгоритм зворотного поширення помилки для навчання.

У випадку, коли похибка навчання закінчує процес зменшення або починає рости, повторно випадковим чином обираються ваги, але з нового інтервалу значень. Процес навчання мережі відбувається паралельно зі спостереженням за кінцевим значенням похибки з метою знаходження локального мінімуму. Запропонований метод збільшує період навчання мережі.

Після встановлення великого початкового значення показника ваг середньоквадратична похибка на виході мережі є практично незмінною. Це

обґрунтовано занадто високим вихідним сигналом нейрона, а саме лінійної його частини, як результат насичення функції активації. Корегування значень ваг в алгоритмі зворотного поширення помилки здійснюється пропорційно похідній функції. Графік похідної приведено на рисунку 1.12.

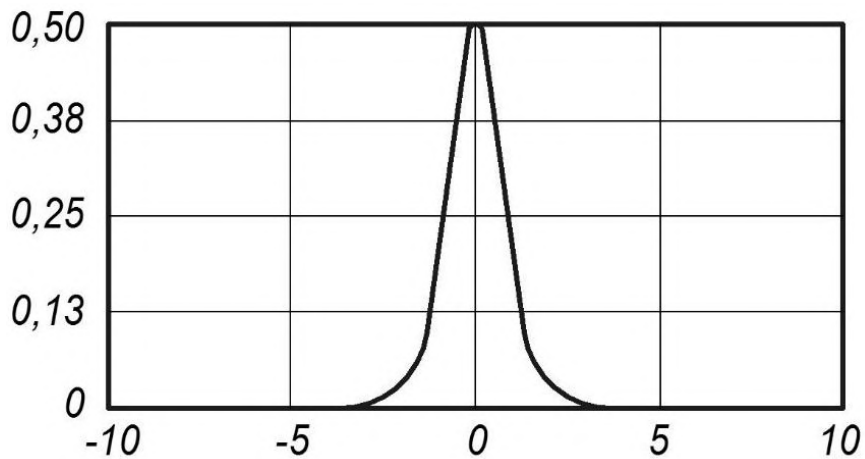


Рисунок 1.12 – Графік похідної функції активації

Тому існує обернено пропорційна залежність між абсолютним значенням сигналу на виході з лінійної частини нейрона та корекцією ваг, як результат швидкість навчання мережі буде незначною. Головним завданням підбору значення ваг є пошук таких довільних значень, які в результаті давали б максимально наближені до одиниці показники сигналу на виході лінійної частини. Коефіцієнт навчання має суттєвий вплив на збіжність алгоритму зворотного поширення помилки. На даний момент не існує універсального методу добору його значення. Найчастіше крок корекції обирається з інтервалу (0,1). У випадку, коли на графіку цільової функції полого, тоді значення градієнта невеликі, та при великих значеннях коефіцієнта швидкість навчання за допомогою алгоритму буде вищою. Коли ж цільова функція виявляється прямовисною, то більші величини коефіцієнта навчання призведуть до осциляції близького рішення та значно подовжують процес навчання мережі.

Головними факторами, що впливають на підбір коефіцієнта, є вирішуване завдання та досвід людини, яка навчає мережу [36].

1.3 Нейро-нечіткі мережі

Нечіткі нейронні мережі або гібридні мережі створенні з метою комбінації переваг нейронних мереж і систем нечіткого виводу [37]. По-перше, вони дають змогу розробляти та подавати моделі систем у вигляді правил нечітких продукцій, котрі характеризуються наочністю та простотою змістовної інтерпретації. По-друге, при побудові правил нечітких продукцій застосовуються методи нейронних мереж, що є більш зручним і менш трудомістким процесом для системних аналітиків. Сучасне використання нейро-нечітких мереж визнається фахівцями як один з найперспективніших методів для розв'язку слабо або погано структурованих завдань прикладного системного аналізу.

Нейро-нечітка мережа по факту є багат шаровою нейронною мережею спеціальної структури з відсутніми зворотними зв'язками, в якій застосовуються стандартні (не нечіткі) сигнали, функції активації та ваги, а виконання операції підсумовування ґрунтується на використанні фіксованої Т-норми, Т-конорми чи деякої іншої безперервної операції. Для гібридної нейронної мережі величини входів, виходів і ваг є матеріальні числа з відрізка $[0, 1]$.

Головна ідея, на якій базується модель нейро-нечітких мереж – це використання існуючої вибірки даних для ухвалення параметрів функцій належності, які краще відповідають деякій системі нечіткого виведення. При цьому для визначення параметрів функцій застосовуються процедури навчання нейронних мереж.

У системі MATLAB (Fuzzy Logic Toolbox) нейро-нечіткі мережі реалізовані у формі адаптивної системи нейро-нечіткого виводу ANFIS.

Гібридна мережа ANFIS являє собою нейронну мережу, що має один вихід з декількома входами. При цьому терми вхідних лінгвістичних змінних зображуються стандартними функціями належності системи MATLAB. Але нейро-нечітка мережа ANFIS є системою нечіткого виводу FIS віднесеного до типу Сугено нульового чи першого порядку, в котрій кожне з правил має постійну вагу, що дорівнює 1. В середовищі MATLAB користувач має змогу коригувати та налаштовувати гібридні мережі ANFIS за аналогією з системами нечіткого виведення за допомогою інструментів усіх розглянутих раніше засобів пакету Fuzzy Logic Toolbox [38].

1.4 Інтелектуальні системи управління

Однак, системи керування суттєво відмінні від систем прогнозування, спостереження, діагностики, конструювання та планування. Відмінною особливістю інтелектуальних систем керування є їх класифікаційне віднесення до класу динамічних систем, які працюють в режимі реального часу і мають в своєму складі підсистеми взаємодії з зовнішнім світом (датчики, виконавчі пристрої).

1.4.1 Концепція і визначення поняття інтелектуальної системи

Розвиток технологій та створення високо продуктивних мікропроцесорів з великим об'ємом пам'яті, можливість організації мульти мереж для реалізації паралельних обчислень, з одного боку, та потреба обробки великих масивів інформації, використання баз знань для генерації направленої діяльності – з іншого, призвели до створення інтелектуальних систем.

Під інтелектуальною системою розуміють об'єднану інформаційним процесом структуру технічних засобів і програмного забезпечення, котрі працюють у взаємозв'язку з оператором або незалежно від нього; здатну на основі відомостей і знань при наявності мотивації синтезувати, генерувати

рішення про дію та знаходити ефективні шляхи вирішення завдань.

Узагальнена структура інтелектуальної системи приведена на рис. 1.13.

Базуючись на інформації про навколишнє середовище та аналізуючи свій стан, система за наявності пам'яті та мотивації синтезує мету, яка разом з іншими даними обробляється динамічною експертною системою. Остання з використанням бази знань генерує експертну оцінку, на основі якої приймається рішення про реакцію та прогноуються її результати.

Відповідно до прийнятого рішення виробляється механізм управління, тобто синтезується той чи інший алгоритм або закон управління, який реалізується за допомогою різних виконавчих органів і впливає безпосередньо на об'єкт управління. Отримані результати керуючого впливу порівнюються з запланованими (засоби зворотного зв'язку) [39].

У разі невідповідності отриманих результатів на базі нової експертної оцінки виконуються дії системи, що усувають цю невідповідність. Якщо відповідність неможливо отримати, то корегується мета. Дана структура інваріантна до об'єкта керування та носить універсальний характер.

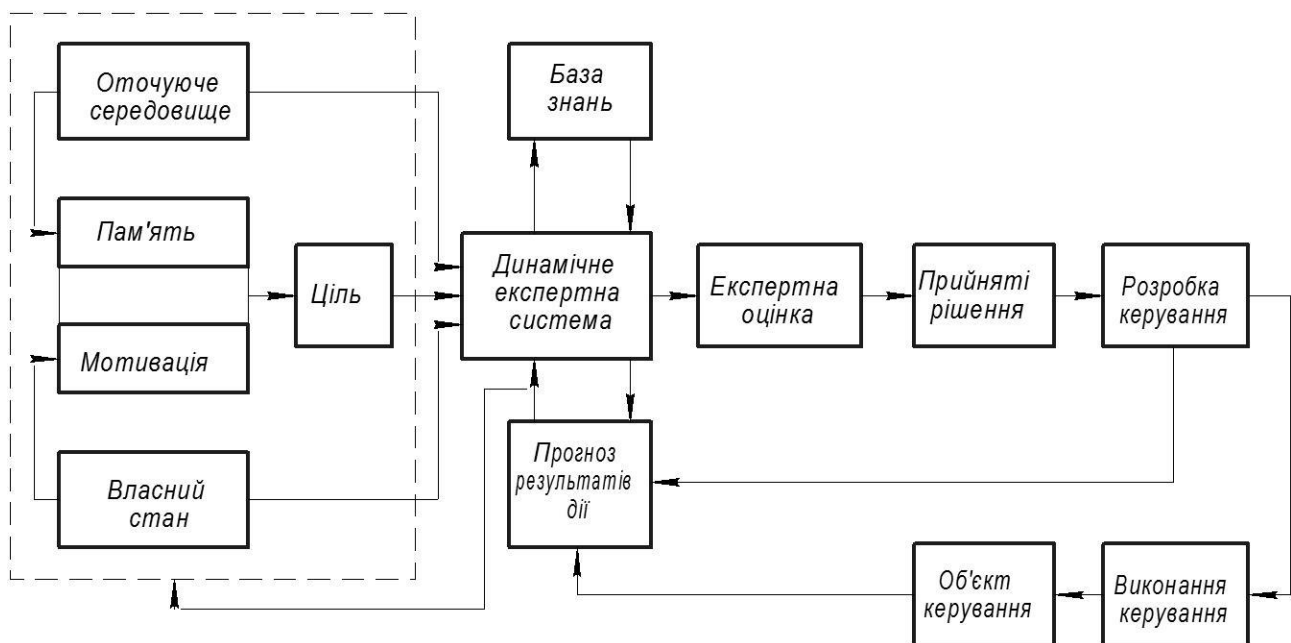


Рисунок 1.13 – Структура інтелектуальної системи

1.4.2 Структура інтелектуальної системи управління

Інтелектуальні системи здатні генерувати мету, приймати рішення до дії, забезпечувати дію для досягнення мети, прогнозувати значення параметрів результату дії і зіставляти їх з реальними, утворюючи зворотний зв'язок, коригувати мету або управління [40]. На рисунку 1.14 зображена структурна схема ІС, де представлені два блоки системи: генерація мети та її реалізація.

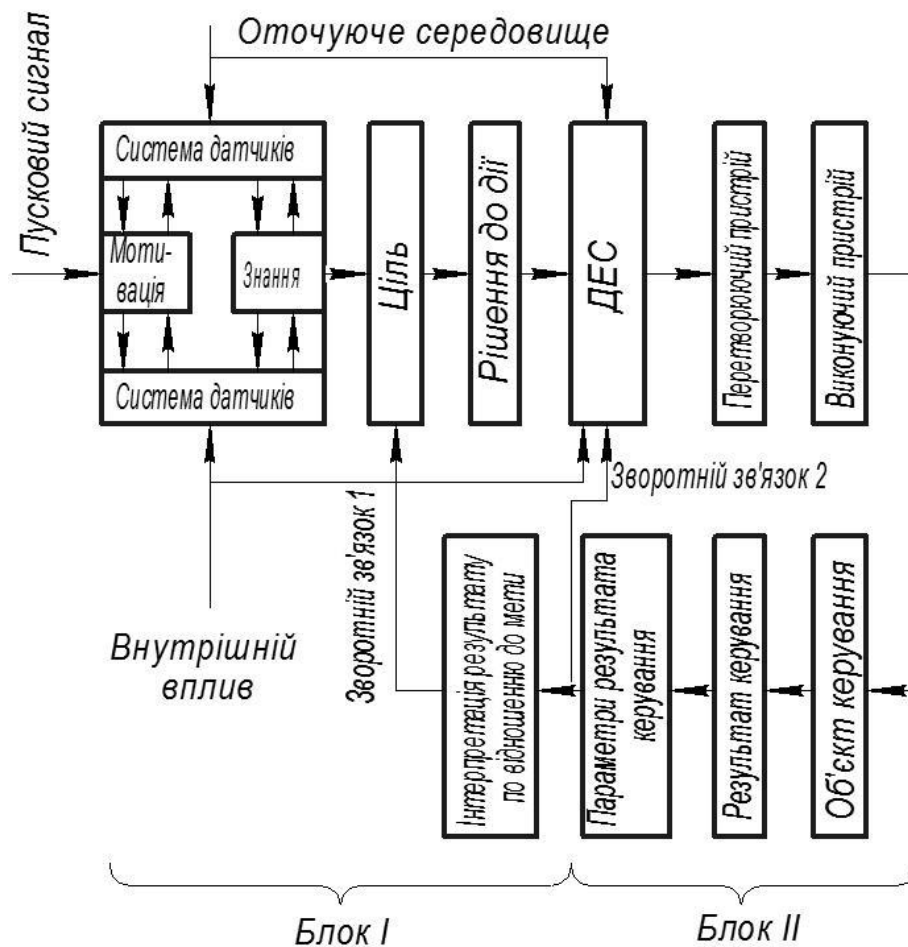


Рисунок 1.14 – Структурна схема ІС

У блоці генерації мети на основі оцінки інформації, яка надходить від системи датчиків, при наявності достатньої мотивації та знань кристалізується мета та перелік дії для її досягнення. Оцінка інформації проводиться під впливом пускових сигналів. Зміни в навколишньому середовищі та власному стані системи можуть призводити до потреби (мотивації), а при наявності знань

може бути згенеровано мету. Під метою розуміється [41] ідеалізований прогноз результату діяльності системи. Продовжується оцінка інформації про оточуюче середовище та стан системи, в тому числі об'єкта керування, при зіставленні варіантів шляху досягнення мети приймається рішення до дії.

У блоці реалізації мети динамічної експертної системи (ДЕС) на основі відомостей, отриманих у режимі реального часу [42] про оточуюче середовище та свій стан, за умови наявності мети «незнання» здійснюється експертна оцінка, приймається рішення про керування, прогнозує результати дії. Представлений у вигляді коду алгоритм керування перетворюється в фізичний сигнал і поступає на виконавчі пристрої. Об'єкт керування, отримуючи сигнал від виконавчих елементів, виконує відповідну дію, результати якої оформлюються в вигляді параметрів, по ланцюгу зворотного зв'язку 2 поступають до ДЕС, де порівнюються з прогнозованими. В той самий час параметри результату дії, розділені відповідно до властивостей цілі, оброблюються в блоці І та можуть використовуватися для якісної оцінки отриманого результату: наприклад, задача виконана, але результат не задовольняє додаткові (необов'язкові) умови. Якщо мета досягається за всіма параметрами, то керування підкріплюється, в іншому випадку відбувається корекція. У випадку, коли мета недосяжна, змінюються параметри мети. Слід враховувати, що при непередбачуваних змінах стану оточуючого середовища або об'єкта керування, або системи в цілому, може бути згенерована нова мета та організація її досягнення. Структура ІС поряд з новітніми містить класичні елементи та зв'язку, центральне місце в ній займає ДЕС.

1.4.3 Динамічні експертні системи і база знань

ІС можливо описати за рахунок наступних виразів:

$$T \times X \times S \xrightarrow{\alpha^1} M \times T;$$

$$T \times M \times S \xrightarrow{\alpha^2} Z \times T;$$

$$C \times T \times S \xrightarrow{\alpha^3} R \times T;$$

$$T \times X = \{A \times T\}X \times T + \{B \times T\}U \times T;$$

$$T \times Y = \{D \times T\}X \times T;$$

$$T \times R \times Y \xrightarrow{\alpha_i} Z \times T,$$

де T – множина моментів часу; X, S, M, C, R і Y – множини станів системи, навколишнього середовища, мотивації, мети, прогнозованого та реального результату; A, U і D – матриці параметрів; α_i – інтелектуальні оператори перетворення, що використовують знання.

У цьому описі сполучаються уявлення об'єктів системи у вигляді множини значень або множини висловлювань, або інших форм. Опис динамічних характеристик ІС може бути здійснений в просторі станів. Інтелектуальні оператори, які реалізують сприйняття, уявлення, розвиток поняття, думки та висновки в процесі пізнання, є формальним засобом обробки даних і знань, а також – ухвалення рішень. Усі вище зазначені аспекти мають бути покладені в основу побудови ДЕС, які функціонують в режимі реального часу та реальному світі.

ДЕС є певне комплексне утворення, здатне оцінювати стан системи та середовища, порівнювати параметри бажаного та отриманого результатів дії, ухвалювати рішення та виробляти керування, що сприяє досягненню цілі. Знання, які отримує експертна система, можна поділити на три категорії [43]:

1) концептуальне знання – це знання, втілене в словах людської мови або, точніше, в науково-технічних термінах, класах і властивостях об'єктів оточуючого середовища. До цієї категорії відносяться зв'язки, відносини та залежності між поняттями та їх властивостями, також виражені словами та термінами. Концептуальне знання – це галузь фундаментальних наук, якщо враховувати, що поняття є вищим продуктом матерії – мозку;

2) фактуальне знання – це сукупність даних про якісні та кількісні характеристики визначених об'єктів. З цією категорією знань зв'язуються визначення «інформація» та «дані». Будь-яке знання несе інформацію та може бути надано в вигляді даних; фактуальне знання – це те, з чим завжди мали

справу ЕОМ і з чим вони мають справу й досі. Базою даних називають сучасну форму накопичення даних. Для створення баз даних, для пошуку в них необхідної інформації потрібно спиратися на концептуальне знання;

3) алгоритмічне знання – це те, що заведено називати словами «вміння», «технологія» та ін. В обчислювальній справі алгоритмічне знання реалізується у вигляді алгоритмів, програм і підпрограм. Дана реалізація алгоритмічного знання зветься програмним продуктом. Найбільш розповсюджені форми програмного продукту – програмні системи, прикладне програмне забезпечення й інші, зорієнтовані на конкретну галузь застосування, ДЕС. Концептуальні знання базується на організації та використанні прикладного програмного забезпечення.

Концептуальне знання є вищою, визначальною категорією знання, з точки зору практики інші категорії можуть здаватися більш важливими. Виходячи з цього, вірогідно, концептуальне знання досить рідко втілюється у формі, доступній для опрацювання на ЕОМ [44]. А у випадку втілення, це відбувається неповно та односторонньо. Людина, в більшості випадків, залишається носієм концептуального знання, як результат гальмування процесів автоматизації. Системи, що реалізує всі три категорії знання, але виносить концептуальне знання на передній план і працює з урахуванням його інтенсивного користування, називають базою знань. Розроблення та широке вживання баз знань в ІС – одне з найактуальніших завдань. Концептуальну частину бази знань називають моделлю предметної області, алгоритмічну частину – програмною системою, актуальну частину – базою даних.

Наступна функція ДЕС – це вирішення задач. Рішення завдання машиною можливо тільки в випадку наявності формальної специфікації. Остання мусить спиратися на певну базу знань. Модель предметної галузі описує загальну ситуацію, в якій з'явилася задача, а специфікація – зміст задачі. Разом вони дають змогу встановити, які теоретичні зв'язки та залежності, в яких сполученнях і в якій послідовності мають бути використані для розв'язку

задачі.

Прикладні програми становлять собою об'єктивні засоби, що стоять за цими залежностями, та містять алгоритми [45] для розв'язання виникаючих при цьому рівнянь. Врешті, база даних постачає всі початкові дані або їх частину для виконання визначених алгоритмів, дані, що не підходять, мають міститися в специфікації. Цим трьом складовим частинам баз знань відповідають три етапи розв'язку задачі [46]: 1) побудова абстрактної програми розв'язання (включаючи появу завдання, його постановку та специфікацію); 2) переклад задачі на придатну для машини мову; 3) трансляція та виконання програми.

Розробка абстрактної програми пов'язана з наданням та опрацюванням концептуального знання в ІС і за визначенням є набутком штучного інтелекту. Штучний інтелект зв'язують з опрацюванням текстів, усних дописів на природній мові, з аналізом та опрацюванням інформації.

1.4.4 Структура і функції динамічної експертної системи

До функцій ДЕС також належать оцінка результатів розв'язку задачі, формування властивостей майбутнього результату дії, ухвалення рішення про керування, вироблення алгоритму управління та звірення параметрів бажаного та фактичного результатів. Передбачається моделювання процесів для оцінювання можливих наслідків і правильності розв'язку задачі.

У реальних випадках є проблема опису досліджуваних предметів. Такий опис неправомірно рахувати частиною специфікації задачі, бо щодо одного об'єкта встановлюється багато задач, це необхідно враховувати під формування бази знань. Окрім того, може виявитися, що викладене завдання не вирішується до кінця автоматично, приміром, через неповноту специфікації або опису об'єкта. Отож в ІС доцільний на визначених стадіях інтерактивний режим праці з ДЕС. Необхідно пам'ятати, що модель предметної галузі описує загальну ситуацію (знання), а специфікація – зміст задачі. Головними проблемами є створення єдиного програмного середовища та синтез алгоритмів

безпосередньо по постановці задачі.

Уявлення алгоритму вирішення залежать від мети, яку досягає ІС, наявних база знань, завдань і прийнятих рішень. Відповідно до цього виділяють три типи ДЕС. Структура ДЕС першого типу зображена на рис. 1.15.

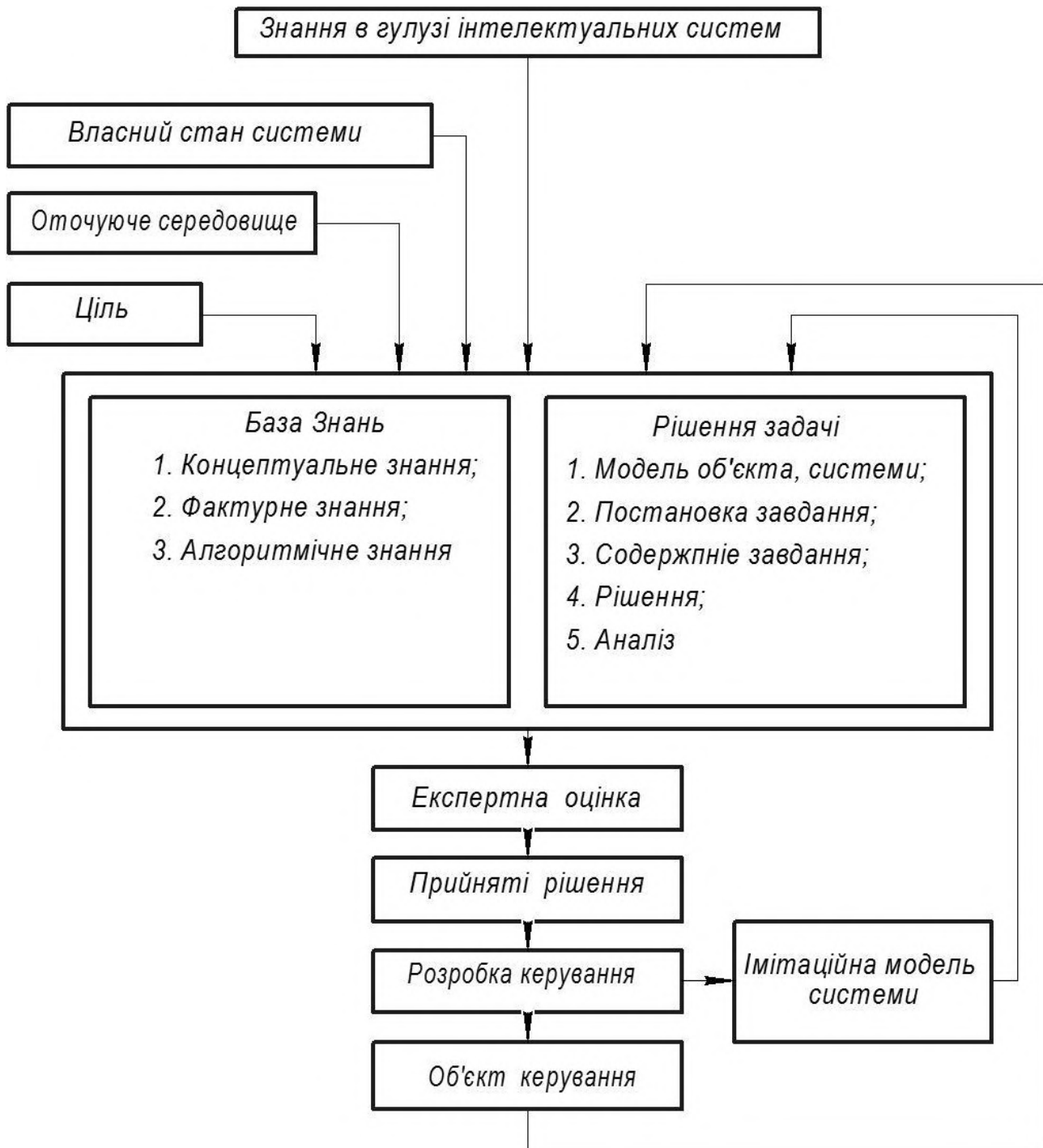


Рисунок 1.15 – Структура ДЕС першого типу

Мається на увазі, що концептуальне та фактуальне знання точно віддзеркалюють процеси та відомості, пов'язані з предметною галуззю.

Вирішення задачі, яка виникає в цій галузі, буде одержано на основі жорстких математичних методів згідно із постановкою та специфікацією. Підсумки дослідження рішення та прогноз застосовуються для одержання експертної оцінки й ухвалення рішення про потребу керування. Далі на основі підходящого алгоритму керування, існуючого в базі знань, формується управляючий вплив.

Ефективність й несуперечність цієї дії, перш ніж вона надійде на об'єкт керування, оцінюється на імітаційній математичній моделі. Оцінка мусить виконуватися швидше справжніх процесів в ІС. Але ДЕС, що реалізують ухвалені рішення, є складними програмними комплексами, що призначені для автоматичного ухвалення рішення або для допомоги особам, котрі ухвалюють рішення, та при оперативному керуванні складними системами й процесами, що працюють в умовах обмежень часу.

ДЕС другого типу, на відміну від ДЕС першого типу, призначені для вирішення важко формалізованих задач під час відсутності повної та достовірної інформації (рис. 1.16). У них застосовуються експертні моделі, збудовані з урахуванням знань експертів – спеціалістів у цій проблемній галузі, та евристичні методи пошуку розв'язку. Однією з головних проблем при проектуванні ДЕС другого типу є необхідність вибору формального апарату з метою опису процесів ухвалення рішення й побудова з його урахуванням моделі прийняття рішень, адекватної проблемній галузі. В ролі такого апарату, як правило, використовують продукційні системи. Однак, основні дослідження проводяться в контексті трактування виробничої системи алгоритмічним методом з притаманною їй послідовною схемою пошуку розв'язку.

Отримані в результаті моделі найчастіше є неадекватними дійсним проблемам галузі, характеризуються відсутністю диференціації процесу пошуку рішення (рис. 1.16). Вирішенням є паралелізм при пошуку [48].

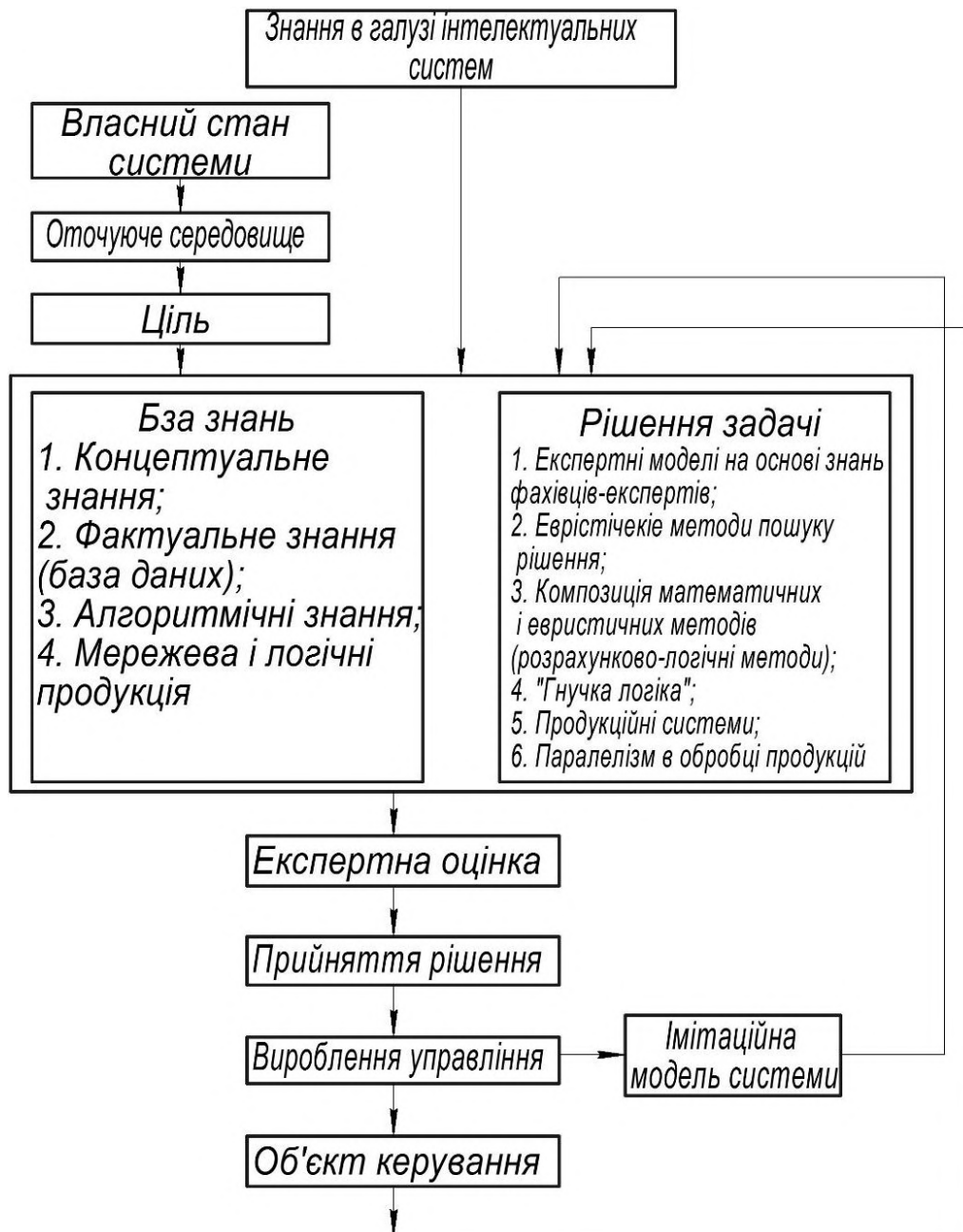


Рисунок 1.16 – Структура ДЕС другого рівня

Варто орієнтуватися на поєднання ДЕС першого та другого типів у розрахунково-логічну ДЕС третього типу, де база знань сполучає як жорсткі математичні формули, так й інформацію експертів, відповідно – нежорсткі евристичні методи з жорсткими математичними методами пошуку рішення, причому вага будь-якого компонента визначається максимально реалістичним описом предметної галузі та способом пошуку рішення (рис. 1.17).

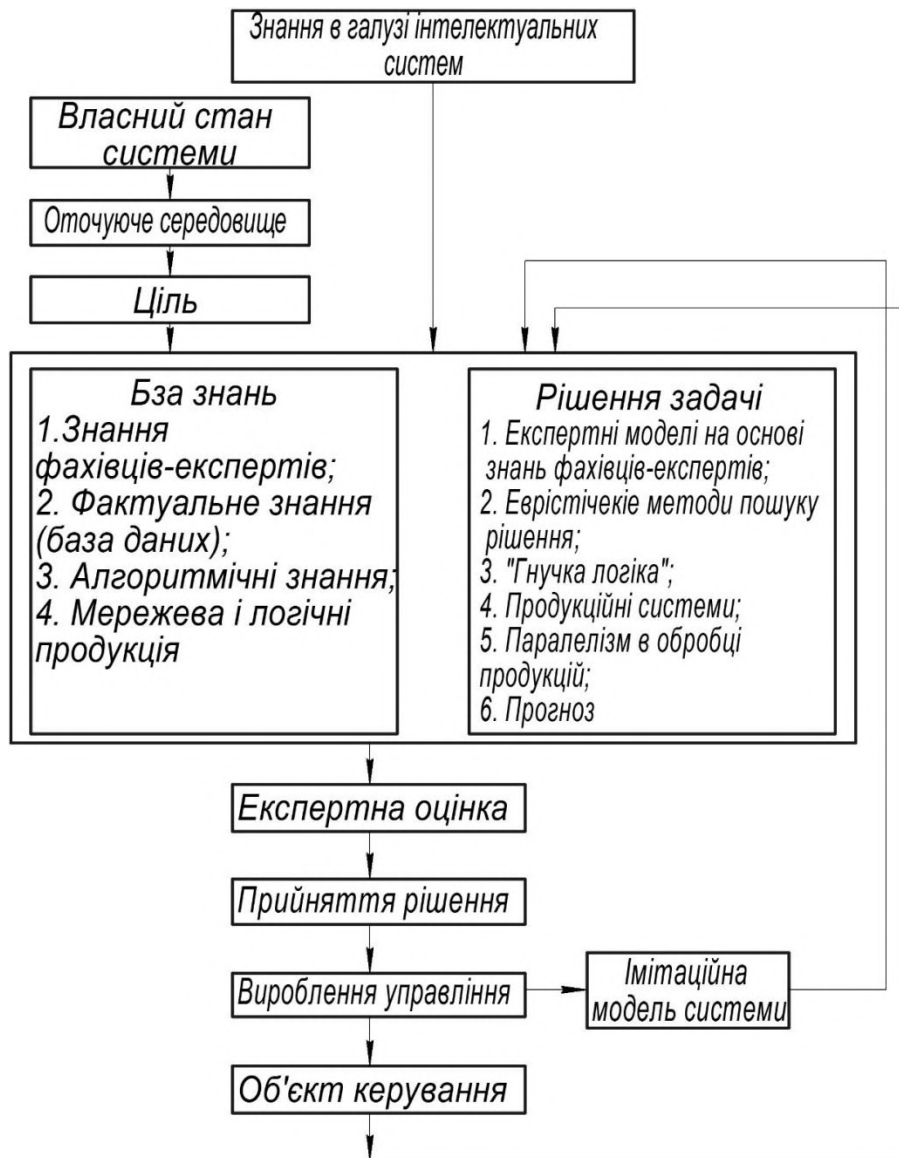


Рисунок 1.17 – Структура ДЕС третього рівня

Розробка ДЕС супроводжується наступними проблемами [49]:

- визначення складу та подальше формування бази знань;
- створення нових і використання вже відомих теорій і методів для математичного опису інформаційних процесів в ІС;
- створення способів подачі та організації використання знань;
- створення алгоритмів і програмного забезпечення для реалізації «гнучкої логіки»;
- пошук придатних обчислювальних середовищ для впровадження

паралельних алгоритмів при формуванні ДЕС.

1.4.5 Вимоги до ДЕС

У динамічних експертних системах робота відбувається в складі системи, укомплектованої зворотними зв'язками, тому існує необхідність забезпечення сталої роботи таких ІС. З класичних міркувань прийнято вважати, що тривалість реакції ДЕС на вхідний сигнал, що витрачається на обробку вхідної інформації і визначення керуючого впливу, є тільки величиною затримки. Частковий аналіз дозволяє оцінити зміну періодичних властивостей системи, це є методом визначення запасу стійкості. За потреби є функція корекції за рахунок використання фільтрів.

Однак, з точки зору класичної теорії управління ІС є системами, які мають складну структуру та зв'язки, аналіз стійкості яких традиційними методами здійснити дуже складно.

1.4.6 Нейромережеві технології інтелектуальних систем

Технології програмування, що застосовуються в системах керування, розділяються на традиційні, які базуються на звичайних обчислювальних процедурах, та «системи штучного інтелекту» або інтелектуальні системи [50]. Характерними прикладами останніх вважаються експертні системи та нейронні мережі. На вибір типу програмного забезпечення (ПЗ) впливає ряд факторів, головні з яких: вимоги галузі застосування та вартість розробки ПЗ.

Так, наприклад, система G-2, яка використовує весь спектр сучасних інформаційних технологій, дозволяє вирішувати досить широке коло завдань управління, але її застосування стає проблематичним при рішенні задач прикладного характеру не стільки через високу вартість системи, скільки через високі вимоги до обчислювальних ресурсів.

Загальновідома система CIAM, що використовує класичні обчислювальні процедури, є обмеженою та може вирішувати тільки задачі моделювання в

досить вузькому спектрі, це стримує можливості її застосування в основному рамками навчального процесу.

Більш просунута система моделювання Matlab + Simulink має можливість працювати з широким класом об'єктів і підходів, у тому числі з використанням елементів штучного інтелекту (Neural Network Toolbox, Fuzzy Logic Toolbox). Складнощі, обумовлені поєднанням системи з реальними об'єктами та окремими програмними модулями, звужують сферу використання системи завданнями моделювання [51].

На практиці є ряд завдань управління, де інформація про об'єкт може бути нецілковитою, неконкретною або нечіткою, у цьому випадку застосування класичних обчислювальних алгоритмів стає малоефективним і не дає бажаного результату. Також зв'язок між вхідними та вихідними параметрами може бути складно модельованим, а часом просто неможливим. У таких випадках позитивний результат можна досягти за рахунок використання нейромережевих технологій.

1.5 Розробка методів і засобів створення систем управління

Як показав аналіз в області теорії і практики штучного інтелекту, в даний час створені досить ефективні технології штучного інтелекту, які застосовуються в різних практичних додатках, в тому числі й в управлінні [52]. Однак, більшість цих технологій використовуються для розробки, дослідження та впровадження локальних систем управління, призначених в основному для вирішення завдань стабілізації [53] деяких змінних технологічного процесу.

1.5.1 Концепція розвитку методів ІТ для створення гібридних і інтелектуальних систем управління

Проведені численні дослідження [54-56], показали, що ІТ можна використовувати при розробці безпосередньо моделі оптимального управління

процесом, а не моделі самого технологічного процесу. Тобто такі технології дозволяють розробляти відразу ж алгоритми управління, на відміну від традиційного ланцюжка: розробка структури моделі процесу – проведення експериментальних досліджень на об'єкті – ідентифікація моделі – формулювання оптимізаційної задачі – підбір методу оптимізації – розробка алгоритму оптимального управління. Традиційний підхід передбачає тривалий (часом кілька років), дорогий і не завжди успішний шлях створення системи оптимального управління.

Використання ІТ дозволяє вирішувати аналогічні завдання відразу ж, і як показав досвід досить успішно [57]. Справа в тому, що методи штучного інтелекту припускають використання знань, досвіду та інтуїції людей-експертів, добре знайомих з предметною областю. Тобто тут використовується так званий ефект «готових знань». На відміну від цього розробка математичної моделі (основного компонента системи) є процесом створення «нових знань», і тому вимагає досить тривалого часу на проведення теоретичних досліджень, а також великих матеріальних і трудових витрат для проведення експериментальних досліджень та ідентифікації моделі.

До того ж досвідчені оператори за час тривалої роботи навчилися вести процес в оптимальних режимах при різних вихідних ситуаціях. Передача «готових знань» від людей-експертів в базу знань інтелектуальної системи значно спрощує створення інтелектуальних систем, а їх експлуатація дозволяє виключити ефект «людського фактору» при управлінні процесом (це такі властивості людського організму як: втома, недостатньо швидка реакція, недостатня психологічна стійкість, сонливість при монотоній роботі, незначний досвід роботи молодих операторів та інші причини).

Використовуючи ідею розробки замість моделі самого процесу, моделі процесу управління ним в синергії з сучасними здобутками інформаційно-технічного прогресу, пропонується наступну трьохетапну процедуру створення систем оптимального управління технологічними процесами (див. рис. 1.18).

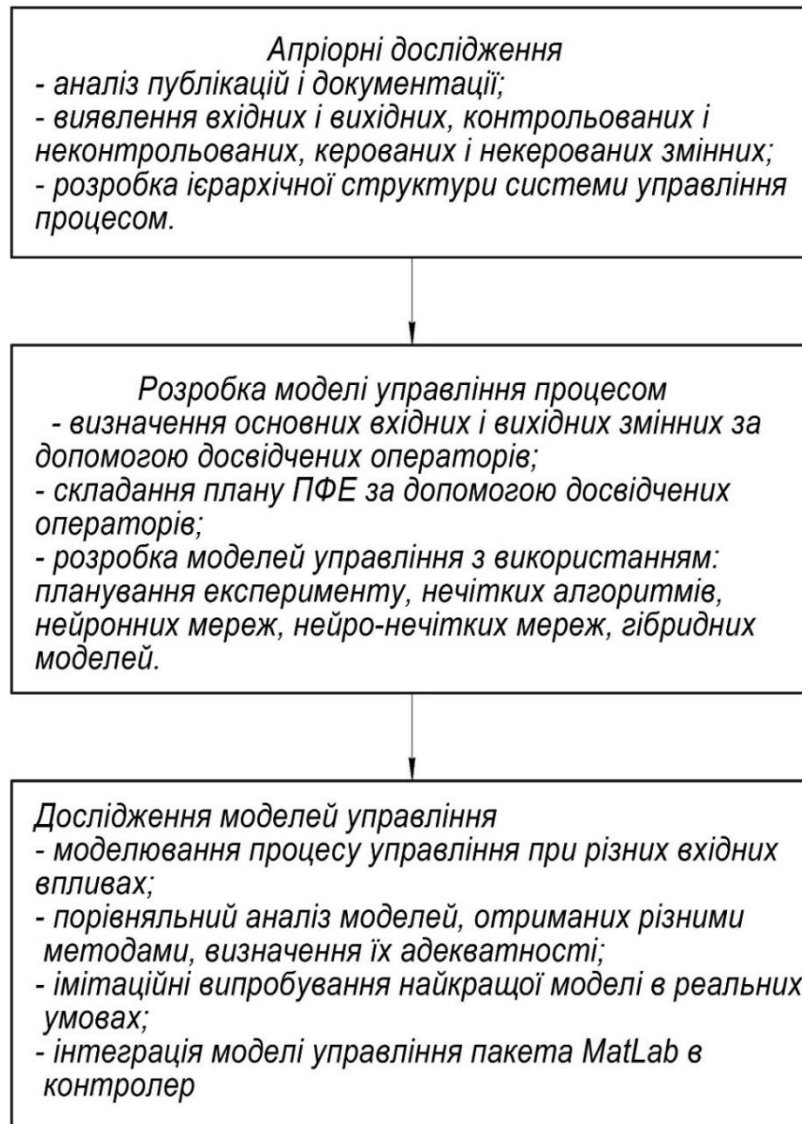


Рисунок 1.18 – Трьохетапна процедура створення гібридних і інтелектуальних систем управління

На першому етапі проводяться апріорні дослідження особливостей об'єкта управління з літературних джерел, публікацій у періодичних виданнях та документації. Як правило, діючі процеси повинні були пройти тривалий етап наукових досліджень, випробувань, перш ніж вони були впроваджені у виробництво. Напевно залишилися матеріали цих досліджень, а також спроби створення математичних моделей даного процесу. Необхідний ретельний аналіз всієї цієї інформації з тим, щоб використовувати її при розробці

інтелектуальних систем управління. Особливо це важливо при можливому створенні гібридних систем управління (ГСУ).

На цьому ж етапі необхідно проаналізувати досліджуваний процес як об'єкт управління з виявленням вхідних і вихідних, контрольованих і неконтрольованих, керованих і некерованих змінних. При цьому необхідно оцінити інерційність об'єкта по різних каналах, клас об'єкта (безперервний або дискретний), ступінь повноти інформації про змінні об'єкта, робочий діапазон зміни змінних об'єкта. Після ретельного аналізу наявної інформації необхідно скласти структуру майбутньої системи управління, що значно полегшить подальшу роботу.

На другому етапі розробляється модель процесу управління. За допомогою досвідчених експертів визначається основна мета управління (аналог цільової функції в оптимізаційних задачах), яка, як правило, відома та яку зазвичай прагнуть досягти досвідчені оператори. Потім методом ранжування зі спільного переліку всіх типів змінних визначаються ті, які, на думку експертів, є основними для даного об'єкта (процесу).

Основним завданням другого етапу є складання матриці планування повного факторного експерименту (ПФЕ). За допомогою матриці ПФЕ [58] створюється модель управління об'єктом (процесом). При цьому, наприклад, для трирівневих факторів повне число можливих поєднань числа факторів при двох вхідних змінних $N = 3^2 = 9$, для трьох змінних – $3^3 = 27$.

Наприклад, при двох вхідних змінних складається матриця планування ПФЕ, наведена в таблиці 1.1.

Таблиці виду 1.1 є основою для розробки інтелектуальних систем, так як в них зосереджений багаторічний досвід, знання та інтуїція людей-експертів у конкретній предметній області. Від якості матриці ПФЕ буде залежати ефективність роботи всієї системи управління.

Таблиця 1.1 – Матриця планування ПФЕ

№ експерименту	X ₁	X ₂	Y ^c оцінка експерта
1	0,0	0,0	
2	0,0	0,5	
3	0,0	1,0	
4	0,5	0,0	
5	0,5	0,5	
6	0,5	1,0	
7	1,0	0,0	
8	1,0	0,5	
9	1,0	1,0	

Величини: 0,0; 0,5; 1,0 означають мінімальне, середнє та максимальне значення вхідних змінних X₁ і X₂. Експертів залишається лише з урахуванням свого досвіду, знань і інтуїції проставити значення вихідної змінної Y^c (керуючого впливу) в діапазоні від 0,0 до 1,0. Нормалізація в діапазоні від 0 до 1 вхідних і вихідних змінних здійснюється за формулою:

$$\bar{x} = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1.37)$$

де: \bar{x} – нормалізоване (від 0 до 1) значення вхідної або вихідної змінної;

x – поточне значення змінної;

x_{\min} , x_{\max} – мінімальне та максимальне значення змінної.

Складання матриці планування експериментів набагато зручніше для експертів, ніж рекомендоване в всіх підручниках і публікаціях складання правил нечітких продукцій виду. При цьому експерту немає необхідності вигадувати нескінченні терми: («дуже багато», «дуже-дуже мало», «цілком нормально») – він просто ставить значення вихідний (керуючої) змінної в діапазоні від 0,0 до 1,0. При цьому матриця планування ПФЕ [58] може бути використана для чотирьох різних методів створення моделі управління: планування експерименту, експертні системи, нейронні мережі, нейро-нечіткі алгоритми.

На відміну від добре відомого класичного методу планування експерименту складання матриці планування ПФЕ за допомогою експертів значно прискорює та здешевлює цю процедуру. Експерти проводять так звані «уявні експерименти» замість дорогих, реально проведених активних експериментів. Крім того, потрібно враховувати, що проведення активних експериментів в умовах діючого виробництва нереально через можливе виникнення аварійних ситуацій при зміні змінних процесу від мінімальних їх значень до максимальних значень, і назад. До того ж на багатьох підприємствах просто немає можливості змінювати змінні згідно матриці планування ПФЕ.

Необхідно підкреслити, що вихідні значення Y_i є насправді керуючими змінними, тому матриця планування відображає модель управління процесом для всіх запланованих експертами поєднань вхідних змінних. Для розрахунку значень у проміжних поєднаннях вхідних змінних (наприклад, для $X_1 = 0,21$ і $X_2 = 0,74$) необхідно синтезувати модель управління процесом, що є основним завданням другого етапу.

Важливим є і те, що матриця планування ПФЕ може бути використана для створення моделі управління чотирма різними методами [59]: планування експерименту, нечітких алгоритмів, нейронних мереж, нейро-нечітких мереж, гібридних моделей.

Необхідно відзначити, що найбільш ефективно спільно з інтелектуальними моделями використовувати відомі математичні залежності, виявлені на першому етапі досліджень. При цьому необхідно бути впевненим у тому, що такі залежності адекватно відображають ті чи інші фізико-хімічні закономірності конкретного процесу.

На третьому етапі проводиться дослідження створених моделей управління. При цьому здійснюються такі заходи.

Отримані моделі піддаються ретельному дослідженню та аналізу їх чутливості, стійкості, однозначності. Для чого проводиться моделювання процесу управління при різних змінах вхідних змінних, будуються криві зміни

вихідних змінних при зміні вхідних змінних, і проводиться їх аналіз спільно з експертами.

Після завершення дослідження моделей, отриманих різними методами, проводиться порівняльний аналіз на їх адекватність. Для чого за допомогою моделей розраховуються вихідні змінні при значеннях вхідних змінних, взятих з матриці планування ПФЕ і порівнюються з оцінками, даними експертом. Після чого формується матриця порівняння (див. таблицю 1.2).

Таблиця 1.2 – Матриця порівнянь розрахункових і експериментальних значень вихідної величини

№ експерименту	X ₁	X ₂	Y ^p оцінка моделі	Y ^e оцінка експерта
1	0,0	0,0		
2	0,0	0,5		
3	0,0	1,0		
4	0,5	0,0		
5	0,5	0,5		
6	0,5	1,0		
7	1,0	0,0		
8	1,0	0,5		
9	1,0	1,0		

Помилки моделювання різними способами. Наприклад, абсолютна помилка у відсотках розраховується за формулою:

$$\delta = 100 \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N |Y^e - Y^p| \quad (1.38)$$

де Y^e і Y^p – відповідно експериментальні і розрахункові значення вихідних змінних.

Абсолютна помилка розраховується для моделей, отриманих чотирма різними способами, а потім провадить виробництво їх порівняльний аналіз. Модель з найменшою абсолютною помилкою вважається найбільш адекватною.

Найбільш адекватна модель повинна пройти імітаційні випробування в

умовах діючого виробництва [60]. При цьому на вхід моделі подають дійсні вхідні змінні, зняті з вимірювальної апаратури промислового агрегату, а результати моделювання (вихідна керуюча змінна) порівнюється зі значенням управління, реально здійснюваним досвідченим оператором-технологом. У разі задовільного результату імітаційних випробувань проводиться інтеграція моделі в промисловий контролер. В іншому випадку, все починається спочатку – повернення до першого етапу, і уточнення всіх параметрів моделі.

1.5.2 Розробка програмно-технічних засобів для промислових інтелектуальних систем управління

Для реалізації нечітких правил, розроблених в середовищі Fuzzy Logic Toolbox пакету MatLab, в системі управління технологічним процесом, їх необхідно завантажити в програмований логічний контролер (PLC) [61]. При цьому потрібно зробити інтеграцію контролера із середовищем моделювання Simulink пакета MatLab, в яку включають систему нечітких правил, розроблену в вищезазначеному блоці Fuzzy Logic ToolBox [62].

НС900 є вдосконаленим контролер, який реалізує контурне і логічне управління і має модульну конструкцію, що дозволяє задовольнити вимоги управління та збору даних для широкого діапазону технологічного обладнання. Контролер забезпечує чудову якість управління на базі замкнутого контуру ПД – регулювання (пропорційно-інтегрально-диференціального) і більш стійку обробку аналогових сигналів, ніж більшість логічних контролерів, без погіршення ефективності виконання логічних операцій. Передбачено окремий цикл швидкого сканування для виконання широкого асортименту логічних і обчислювальних функціональних блоків [63]. Логічні блоки можуть також виконуватися одночасно з аналоговими функціональними блоками. Ці функціональні блоки можна повністю інтегрувати в комбіновану стратегію управління аналоговими і логічними величинами для забезпечення стійкої ефективності управління.

Для інтеграції використовується технологія OPC. – це набір повсюдно прийнятих специфікацій, що надають універсальний механізм обміну даними в системах контролю і управління. Аббревіатура OPC розшифровується як OLE for Process Control. OLE – це Object Linking and Embedding – технологія зв'язування та впровадження об'єктів в інші документи і об'єкти, розроблені корпорацією Майкрософт.

OPC заснована на моделі розподілених компонентних об'єктів Microsoft COM / DCOM і встановлює вимоги до класів об'єктів доступу до даних і їх спеціалізованим (custom) інтерфейсів для використання розробниками клієнтських і серверних додатків.

Розробку стандартів OPC, їх опис, підтримку і пропаганду веде добровільна міжнародна організація OPC Foundation, розташована в містечку Boca Raton, штат Флорида США. Організація налічує понад 250 членів, в числі яких компанії, що займають лідируючі позиції в області автоматизації: Honeywell, Fisher-Rosemount, Siemens, Wonderware, Intellution і інші.

На сьогоднішній день технологія OPC є стандартом в області побудови систем автоматизації. OPC-сервер являє собою програмне середовище, що забезпечує одночасний уніфікований спосіб доступу до даних для різних програмних пакетів. Це можуть бути SCADA-пакети різних виробників або інше програмне забезпечення.

В даний час існує декілька специфікацій OPC, що знайшли своє застосування в різних областях автоматизації і передачі даних. В описуваному методі використовується специфікація OPC DataAccess (OPC DA). Це основний і найбільш затребуваний стандарт. Він описує набір функцій обміну даними в реальному часі з ПЛК і іншими пристроями.

Переваги використання OPC в АСУ [64]: пристосовність системи до різних мереж, масштабованість і модернізованих. Додатковою перевагою є підтримка стандарту OPC виробниками продуктів для автоматизованих систем. Ця підтримка дозволяє об'єднати різні компоненти в одній системі.

OPC-сервер являє собою структуру, що має наступну ієрархію, показану на рисунку 1.19.

З боку клієнта ця структура представляється у вигляді стандартного для OPC набору груп і тегів, що належать даному екземпляру сервера. Ім'я групи утворюється як Channel [n] .Device [m], ім'я тега – як відповідне ім'я, вказане при створенні тега при конфігуруванні сервера.

OPC сервер використовується як сполучна ланка між середовищем моделювання і контролером. Передача даних між середовищем моделювання і сервером підтримується на рівні Simulink, які мають в своєму складі бібліотеку OPC Toolbox, що дозволяє конфігурувати OPC клієнт. Передача даних між контролером і сервером підтримується на рівні драйверів, які в даному випадку входять до складу дистрибутива OPC сервера.

Для налаштування роботи сервера з контролером потрібно створити новий канал. На цьому етапі вибирається драйвер пристрою і вказуються параметри з'єднання. В даному випадку зв'язок з контролером здійснюється через СОМ-порт за допомогою конвертера СОМ-РРІ.

Далі необхідно створити новий пристрій. На цьому етапі вибирається тип контролера зі списку підтримуваних обраним драйвером пристроїв. Далі необхідно додати теги, в які буде писати дані контролер і з яких він буде отримувати інформацію. Зв'язок тега з певної змінної контролера здійснюється шляхом зазначення адреси змінної в пам'яті контролера при створенні тега. Кількість тегів і їх прив'язка до змінних залежать від завантаженої в контролер програми.

Для забезпечення роботи Simulink з OPC в модель необхідно додати об'єкти OPC Configuration, OPC Read і OPC Write. Ці об'єкти знаходяться в розділі OPC Toolbox середовища Simulink.

Об'єкт OPC Configuration служить для конфігурації зв'язку з OPC-сервером. Підтримуються як локальні сервери, так і сервери, що знаходяться в мережі. Підтримується одночасна робота з декількома серверами.

Об'єкт OPC Read служить для читання значення зазначеного тега сервера. Даний об'єкт має три виходи – V, Q і T. На вихід V (value) надходить безпосередньо значення, на вихід Q (quality) – його показник якості, на вихід T (timestamp) – час останнього оновлення тега.

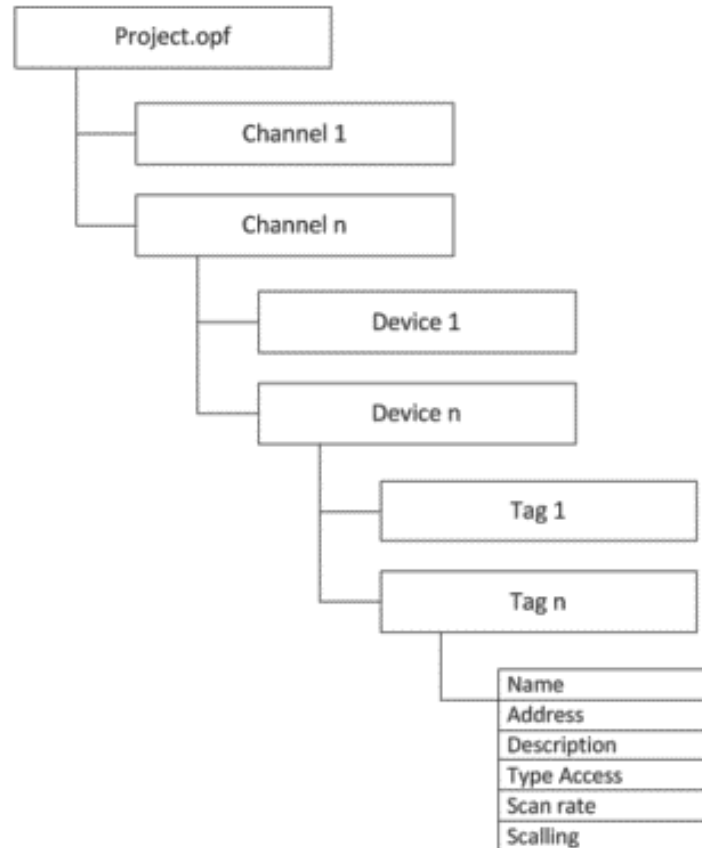


Рисунок 1.19 – Ієрархія OPC-сервера

Об'єкт OPC Write служить для запису інформації в зазначений тег сервера. Читання і запис відбуваються з періодом, рівним кроку моделювання. Для забезпечення коректної роботи крок моделювання необхідно вказувати рівним величині scan rate, що задається при конфігуруванні сервера. При роботі моделі з OPC-сервером моделювання відбувається в реальному часі.

Далі виробляємо запис даних з Simulink в контролер. Обробка імпортованих з Simulink нечітких правил виконується за допомогою стандартних функціональних модулів нечіткого управління контролера HC900.

Висновки до розділу

Штучний інтелект в своєму розвитку пройшов етапи становлення теоретичних розробок, практичних застосувань в області експертних і проблемно-орієнтованих інтелектуальних систем. В даний час відбувається його розширення в області штучних когнітивних систем і систем з креативними здібностями.

Сучасні інтелектуальні системи обробки інформації та управління досягли рівня, на якому виявляється можливим використання глибинних знань про пристрій і роботу нервової системи людини. Використання когнітивного підходу, що виник в психології, при розробці інтелектуальних систем дозволило наблизити їх за функціями до нервової системи людини. В результаті очікується створення все більш потужних інтелектуальних інформаційних і керуючих систем з навчанням і самонавчанням. Вони будуть мати посилені когнітивні можливості за рахунок симуляції когнітивних функцій і процесів, які в нервовій системі людини відповідають за сприйняття, навчання, мислення, свідомість. Розвиток цього напрямку дозволить створювати інтелектуальні системи з елементами мислення та усвідомлення поведінки. Додавання деяких креативних здібностей, пов'язаних, наприклад, з автоматичною побудовою гіпотез і моделей, а також самонавчанням для вирішення нових завдань, дозволить ще більше підвищити ефективність інтелектуальних систем. У зв'язку з цим з'явилися нові напрямки, пов'язані з розробкою штучного мозку і штучної нервової системи роботів, які стосуються не просто штучного інтелекту, а також його розвитку у вигляді штучного розуму.

Інтелектуальні технології, що дозволяють створювати практично корисні інтелектуальні системи, знаходяться в безперервному розвитку. В даний час для реалізації технології експертних систем, нечітко-логічних і нейромережевих систем, а також технології багатоагентних систем є досить потужні інструментальні засоби. Вони швидко удосконалюються шляхом додавання пакетів програм і засобів проектування апаратних реалізацій.

Розвиваються нові технології в області так званих нейроморфних систем, що моделюють деякі структури мозку, а також в області паралельних обчислень і квантових комп'ютерів. Ці технології повинні істотно підняти рівень інтелектуальності систем в майбутньому.

Потрібно відзначити, що розвиток інтелектуальних інформаційних і керуючих систем в останні роки дає все більш значущі практичні результати. Досить навести приклади створення «розумних» інформаційних систем, які перемагають людину в шаховій грі, а також систем управління гуманоїдними роботами, що змагаються між собою на всесвітніх чемпіонатах з футболу роботів.

Однак, до створення інтелектуальних систем, що володіють розумністю людини, поки ще далеко. Вивчення та розвиток нових підходів та інтелектуальних методів вирішення важкоформалізованих завдань обробки інформації та управління дозволить забезпечити розвиток у цьому напрямку. Перспективами реалізації такого вектору є створення розумних систем, здатних обробляти інформацію як людина, або штучних нервових систем гуманоїдних роботів, справжніх помічників і друзів людини в найближчому майбутньому.

Список використаних джерел

1. Юкаева В.С., Зубарева Е.В., Чувикова В.В. Принятие управленческих решений : учебник. М. : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2012. 324 с.
2. Rinaldo Macedo de Morais, Samir Kazan, Silvia Inês Dallavalle de Pádua, André Lucirton Costa An analysis of BPM lifecycles: from a literature review to a framework proposal. *Business Process Management Journal*. 2014. Vol. 20 Issue: 3, P. 412–432, doi: 10.1108/BPMJ-03-2013-0035
3. Baker N., Alexander F., Bremer T., Hagberg A., Kevrekidis Y., Najm H. & Lee S. Workshop report on basic research needs for scientific machine learning: Core technologies for artificial intelligence. USDOE Office of Science (SC), Washington,

DC (United States), 2019 URL: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1478744?ref=https://githubhelp.com>.

4. Карелин В.П. Интеллектуальные технологии и системы искусственного интеллекта для поддержки принятия решений. *Вестник Таганрогского института управления и экономики*. 2011. № 2. С. 79–84.

5. Pavlo A., Paulson E., Rasin A., Abadi D.J., DeWitt D.J., Madden S. & Stonebraker M. A comparison of approaches to large-scale data analysis. In *Proceedings of the 2009 ACM SIGMOD. International Conference on Management of data*, 2009, June, P. 165–178.

6. Безшанова А.Е., Миронова А.И., Моргунова О.В. Экспертные системы: теоретические аспекты. *Физика и медицина: создавая будущее* : материалы III научно-практической конференции студентов и молодых ученых, 2017. С. 151–156.

7. Cavalcante R. C., Brasileiro R.C., Souza V.L., Nobrega J.P. & Oliveira A.L. Computational intelligence and financial markets: *A survey and future directions. Expert Systems with Applications*. 2016. № 55, P. 194–211.

8. Едил Б.К., Касимова Б.Р. Создание алгоритма работы экспертной системы для определения состава оборудования гибридной системы энергоснабжения на альтернативных источниках энергии. *Информационные технологии в экологии*: материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной Году экологии в России. 2018. С. 121–127.

9. Dogac A., Yuruten Birol, & Spaccapietra S. A generalized expert system for database design. *IEEE Transactions on Software Engineering*. 1989. № 15(4). P. 479–491.

10. Корабльов М.М., Овчаренко І.В. Адаптація моделей нечіткого виводу з використанням штучних імунних систем. 2007. С. 73–76. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/dec/7246/15.pdf>

11. Фомина А.В. и др. Управление развитием высокотехнологичных предприятий наукоемких отраслей промышленности. *Scientific magazine*

Kontsep, 2014. 400 с.

12. Van Rooij R. Vagueness and linguistics. *In Vagueness: A guide*. Springer, Dordrecht. 2011. P. 123–170.

13. Костикова А.В., Скитер Н.Н. Формирование динамической базы знаний систем нечеткого вывода для оценки объектов, изменяющихся во времени. *E-Management*. 2018. Т. 1. №. 1. С. 52–59.

14. Кравець П., Киркало Р. Системи прийняття рішень з нечіткою логікою. 2009. С. 115–123. URL: http://vlp.com.ua/files/special/17_0.pdf

15. Перепелиця О.О. Проектування інтелектуальної системи на основі нечітких знань. 2019. URL: http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/5972/1/Perepelija_Proektuvannja_intelektualnoj_system.pdf

16. Dagli C.H. (ed.). Artificial neural networks for intelligent manufacturing. *Springer Science & Business Media*. 2012. 469 p.

17. Branco T., Häusser M. The single dendritic branch as a fundamental functional unit in the nervous system. *Current opinion in neurobiology*. 2010. Т. 20. №. 4. С. 494–502.

18. Турчин В.Ф. Феномен науки: кибернетический подход к эволюции М. : ЭТС. 2000. Т. 368. С. 7.

19. Колесниченко К.В., Колесниченко И.П. Математическая модель нейрона. *Лесной вестник. Forestry bulletin*. 2005. №. 4. С. 107–116.

20. Montague P.R., Dayan P. & Sejnowski T.J. A framework for mesencephalic dopamine systems based on predictive Hebbian learning. *Journal of neuroscience*. 1996. №16(5) P. 1936–1947.

21. Кузин Д.А., Запевалов А.В., Сырчин А.В. Реляционная модель представления многослойного персептрона. *Современные наукоемкие технологии*. 2013. №. 4. С. 45–48.

22. Субботін С.О. Нейронні мережі. Навчальний посібник. 2014. Запоріжжя : ЗНТУ, 2014.132 с.

23. Карлов Д.Н. Алгоритм скоростного обучения многослойного

персептрона. *Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ»*. 2018. №. 3. С. 167–173.

24. Мусакулова Ж.А. Модель нейрона с входной сигмоидальной функцией активации. *Перспективы развития информационных технологий*. 2012. №. 7. С.90–96.

25. Васенков Д.В. Методы обучения искусственных нейронных сетей. *Компьютерные инструменты в образовании*. 2007. №. 1. С. 20–29.

26. Зими́на С.В. Флуктуации весовых коэффициентов в искусственной нейронной сети с алгоритмом Хэбба. *Нейрокомпьютеры: разработка и применение*. 2013. Т. 4. С. 3–8.

27. Кононюк А.Ю. Нейроні мережі і генетичні алгоритми. К. : «Корнійчук», 2008. 446 с.

28. Whittington J.C. & Bogacz R. An approximation of the error backpropagation algorithm in a predictive coding network with local Hebbian synaptic plasticity. *Neural computation*. 2017. №29(5). P. 1229–1262.

29. Коцовський В. Навчання штучних комплексних нейронних мереж методом зворотного поширення помилки. *Інформаційні технології як інноваційний шлях розвитку України у ХХІ столітті* : матеріали І Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих науковців. Ужгород: ЗакДУ, 2013. С. 63–65.

30. Татьянкин В.М. Модифицированный алгоритм обратного распространения ошибки. *Приоритетные направления развития науки и образования*. 2014. №. 3. С. 197–198.

31. Горелова А.В., Любимова Т.В. Алгоритм обратного распространения ошибки. *Наука и современность*. 2015. №. 38. С. 151–158.

32. Lazovskaya T. & Tarkhov D. Multilayer neural network models based on grid methods. *In IOP conference series: materials science and engineering*, 2016, November. Vol. 158, No. 1. P. 12–61.

33. Калініна І.О. Дослідження алгоритмів навчання нейронних мереж в

задачах прогнозування. *Наукові праці Чорноморського державного університету імені Петра Могили. Сер.: Комп'ютерні технології*. 2009. №. 17, Вип. 104. С. 160–171.

34. Ponen J., Kamarainen J.K. & Lampinen J. Differential evolution training algorithm for feed-forward neural networks. *Neural Processing Letters*. 2003. № 17(1). P. 93–105.

35. Бессмертный И.А. Искусственный интеллект : учебное пособие. СПб : СПбГУ ИТМО. 2010. 132 с..

36. Panchal, G., Ganatra, A., Shah, P., & Panchal, D. Determination of over-learning and over-fitting problem in back propagation neural network. *International Journal on Soft Computing*. 2011. № 2(2). P. 40–51.

37. Зайко Т.А., Олійник А.О., Субботін С.О. Побудова нейро-нечітких моделей на основі неструктурованих даних. *Штучний інтелект*. 2012. № 4. С. 546–556.

38. Walia N., Singh H. & Sharma A. ANFIS: Adaptive neuro-fuzzy inference system-a survey. *International Journal of Computer Applications*. 2015. № 123 (13). P. 32–38.

39. Papanikolaou K.A., Grigoriadou M., Kornilakis H. & Magoulas G.D. INSPIRE: an intelligent system for personalized instruction in a remote environment. *In Workshop on Adaptive Hypermedia*. Springer, Berlin, Heidelberg. 2001, August. P. 215–225.

40. Пупков К.А. Современные методы, модели и алгоритмы интеллектуальных систем. М. : РУДН. 2008. 154 с.

41. Stefanuk, V.L. Dynamic expert systems. *Kybernetes*. 2000. Vol. 29 No. 5/6, P. 702–709.

42. Рыбина Г.В., Старостенко К.И. Современная инструментальная база для построения динамических экспертных систем. *Информационно-измерительные и управляющие системы*. 2009. Т. 7. №. 8. С. 73–78.

43. Козлов А.Н. Интеллектуальные информационные системы : учебник.

Мин-во с-х. РФ, ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА. Пермь: Изд-во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2013. 278 с.

44. Redreev G.V., Kiyko P.V. & Shchukina N.V. Optimizing the Use of Expert Systems by Varying Databases. *In 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon. 2019, October. P. 1–4.*

45. Сергієнко Л.Г., Більмак Т.С. Аналіз проблеми інтеграції в динамічних інтелектуальних системах і особливості сучасних інтелектуальних систем управління. *Збірник наукових праць за результатами всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні аспекти механізації та автоматизації енергоємних виробництв».* Індустріальний інститут ДВНЗ ДонНТУ, 11-12 квітня 2017 року. С. 379.

46. Рыбина Г.В. Современные архитектуры динамических интеллектуальных систем: проблемы интеграции и основные тенденции. *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика.* 2017. №. 2. С. 1–12.

47. Волков С.Л., Казакова Н.Ф., Асабашвілі С.Д. Модель експертного оцінювання якісного стану технічної системи. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ» : Механіко-технологічні системи та комплекси.* Х. : НТУ «ХПІ». 2017. № 44. С. 157–161.

48. Vitkus D., Salter J., Goranin N. & Čerponis D. Method for Attack Tree Data Transformation and Import Into IT Risk Analysis Expert Systems. *Applied Sciences.* 2020. № 10 (23). P. 84–23.

49. Тулегулов А.Д. и др. Методы унификации компонентов робототехнических систем. *Труды международного симпозиума «Надежность и качество».* 2020. Т. 2. С. 241–243.

50. Адамик О.В., Сисюк С.В. Інформаційні системи управління підприємством: вибір базових технологій та програмного забезпечення *Глобальні та національні проблеми економіки.* 2016. Випуск № 14 (Грудень). С. 891–895.

51. Benantar M. Access control systems: security, identity management and trust models. *Springer Science & Business Media*. 2005. P.260
52. Fleming P.J., Purshouse R.C. Evolutionary algorithms in control systems engineering: a survey. *Control engineering practice*. 2002. Т. 10. №. 11. С. 1223–1241.
53. Нестеренко О.В., Савенков О.І., Фаловський О.О. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень: навч. посібн. / за ред. П.І. Бідюка. Київ: Національна академія управління. 2016. 188 с.
54. Ponce-Cruz P. & Ramírez-Figueroa F.D. Intelligent control systems with LabVIEWTM. *Springer Science & Business Media*. 2009. P. 215.
55. Карелин В.П. Интеллектуальные технологии и системы искусственного интеллекта для поддержки принятия решений. *Вестник Таганрогского института управления и экономики*. 2011. №. 2. С. 79–84
56. Wilson C., Marchetti F., Di Carlo M., Riccardi A., & Minisci E. Classifying intelligence in machines: a taxonomy of intelligent control. *Robotics*. 2020. № 9 (3). 64 p.
57. Чорноус Г.О. Розробка інтелектуальної агентно-орієнтованої системи підтримки прийняття рішень на підприємстві. *Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Серія: Економіка*. 2014. № 160. С. 101–109.
58. Полупан К.Л. и др. Создание гибридной интеллектуальной системы управления рисками в условиях цифровой экономики. *Развитие цифровой экономики в условиях деглобализации и рецессии*. 2019. С. 61–96.
59. Романов А.В. Алгоритм и программное обеспечение идентификации ячеек радиотехнических устройств с демпфирующими ребрами. *Труды Международного симпозиума «Надежность и качество»*. 2012. Т. 1. С 245–252.
60. Мальков М.В., Олейник А.Г., Федоров А.М. Моделирование технологических процессов: методы и опыт. *Труды Кольского научного центра РАН*. 2010. №. 3. С 124–133.

61. Johnstone K., Blair S.M., Syed M.H., Emhemed A., Burt G.M., & Strasser T.I. Co-simulation approach using PowerFactory and MATLAB/Simulink to enable validation of distributed control concepts within future power systems. *CIREC-Open Access Proceedings Journal*. 2017(1). P. 2192–2196.

62. Цидило І.М. Вивчення майбутніми інженерами-педагогами комп'ютерного профілю пакету Fuzzy Logic Toolbox. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*. 2013. №. 34. С. 468–473.

63. Popescu M. Hierarchical Control of a Fractionation Column using HC900 Controller. *Petroleum-Gas University of Ploiesti Bulletin, Technical Series*. 2009. № 61(3). P. 229-234.

64. Крюков М.Ю. Использование технологии OPC для промышленных АСУ ТП. *Научное сообщество студентов*. 2016. С. 176–177.

РОЗДІЛ 2

ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ НА ТРАНСПОРТІ

Інтелектуальна транспортна система (ІТС) – це система, яка об'єднує в єдиний технічний і технологічний комплекс підсистеми організації руху, забезпечення безпеки [1], а також надання інформаційного сервісу для учасників та потенційних суб'єктів транспортного процесу.

Оперативним завданням ІТС є здійснення та підтримка можливості автоматизованої й автоматичної взаємодії всіх транспортних суб'єктів в реальному часі на адаптивних принципах. Ключовим в побудові ІТС [2] є комплекс шляхово-транспортної, транспортно-технологічної, транспортно-сервісної та інформаційної інфраструктури.

Фактично цей комплекс представляється як сукупність підсистем, в якій передбачена функція диспетчерського, оперативного та ситуаційного координування взаємодії залучених служб, відомств та інших суб'єктів. Для організації такої взаємодії необхідно створювати регіональні диспетчерські центри.

Побудова ІТС неможливо без розробки та реалізації проектних рішень по формуванню середовища (комплексу) зв'язку [3], що враховує всі види зв'язкової взаємодії, від провідних (високо-швидкісні оптоволоконні мережі), до бездротових (стандарти зв'язку, доступні від операторів стільникового зв'язку; радіо- й транкінговий зв'язок, інтернет).

Прийняття рішень з проектування, будівництва та розширення ІТС має спиратися на наукові принципи визначення та моніторингу індикаторів ефективності підсистем ІТС в системі інтересів регіону (за параметрами функціонування транспортної системи), а також споживачів інформаційних та інших послуг, що надаються опосередковано через ІТС.

2.1 Бортові системи на рухомому складі

2.1.1 Автомобільний транспорт

Сьогодні на легкових і вантажних автомобілях широко застосовуються системи для підвищення активної безпеки [4]. Це системи підвищення стійкості, такі як ABS (антиблокувальні), ESP (electronic stability control) – підвищення поперечної стійкості), Brakeassist – система допомоги при екстремому гальмуванні, а також такі системи, як adaptive cruise control (ACC) – адаптивний круїз контроль, forward collision warning (FCW) – система попередження зіткнень, lane departure warning (LDW) – система втримання в смузі руху, blind spot detection (BSD) – системи виявлення сліпої зони.

Система виявлення «сліпої зони» BLIS (Volvo) [5] складається з відеокамер, які роблять по 25 кадрів в секунду, встановлених на зовнішніх дзеркалах заднього виду та 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 внутрішніх (закритих) систем можуть служити джерелами корисної інформації для зовнішньої інфраструктури. Наприклад, інформація про спрацювання системи автоматичного включення двірників може бути використана для уточнення прогнозів погоди [6]. Спрацювання системи ESP може сигналізувати про слизьке дорожнє покриття, а ця інформація корисна для інших учасників руху та дорожніх служб. Сам транспортний засіб є джерелом важливих даних, які можуть слугувати для багатьох інших цілей (управління міським транспортом, управління автомагістралями). Крім інформації від самого транспортного засобу можна використовувати й дані, які зберігаються в пристрої інтелектуального транспортного засобу (цифрові карти, масиви даних, що зберігаються в автокомп'ютері). Внутрішні системи інтелектуального транспортного засобу

іноді називаються також малою телематикою. Зв'язок транспортного засобу з навколишнім середовищем називається великою телематикою [7].

Система підвищення безпеки пішоходів з використанням стільникового зв'язку. У Японії перехожі та велосипедисти є учасниками ДТП в половині випадків. Ці події відбуваються в основному, коли пішоходи знаходяться в «сліпій» зоні або на вузьких дорогах і перехрестях, коли обмежена їх видимість водієм. Фірма Nissan Motor Co., Ltd і NTT DoCoMo, Inc. провели дослідження системи [8], 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 та передає оброблені дані на навігаційну систему автомобіля, попереджаючи водія. Водій отримує попередження на дисплеї та голосове повідомлення про наявність пішохода.

Крім навігаційних систем необхідно враховувати інформаційні системи. В рамках цих систем транспортний засіб приймає інформацію про актуальний стан транспорту.

Найбільш простою та найбільш поширеною є система RDS-TMC, яка, однак, надає тільки основні загальнодоступні 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 [9].

Інформація, яка надається 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.

Інформаційні системи надають не тільки інформацію про транспорт [10], а й, наприклад, інформацію про вільні місця в готелі, інформацію про вільні місця на парковках. 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 навантаженні на ремені безпеки [11]. Далі, використовуючи канали стільникового зв'язку, система посилає сигнал на пульт служби безпеки Volvo On Call. Одночасно з цим надсилаються 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 та 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 та має дублюючі антени й джерело живлення [11]. 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. DSSS: Driving Safety Support Systems. Ці системи допомагають водіям транспортних засобів отримати інформацію [12], яку буває важко сприйняти в ускладнених транспортних умовах (сигнали транспорту, дорожні знаки). Ця інформація може бути передана в автомобіль від дорожньо-транспортної інфраструктури з використанням сучасних технологій ІТС.

Система Smartway зменшує можливість ДТП на швидкісних магістралях. У системі використовуються датчики, комунікації «дорога-автомобіль» та інші сучасні технології ІТС, [13] для попередження водіїв про наявність заторів,

аварій на дорозі.

Система розпізнавання дорожніх знаків. Спеціальна відеокамера обробляє зображення попереду автомобіля, розпізнає дорожні знаки та проектує зображення знаку обмеження швидкості на лобове скло [14] автомобіля за допомогою «віртуального дисплея».

Нічне бачення – система нічного бачення дає можливість на підставі найсучасніших технічних рішень забезпечувати хорошу видимість у сутінках та в темноті. Основою таких систем є термокамери [15], які замість оптичного сигналу знімають дані про температуру об'єктів. Доведено, що ці системи здатні надійно розпізнавати пішохода, тварину або інші живі перешкоди. Відеоінформація та її обробка безумовно будуть основою майбутньої концепції інтелектуального автомобіля. В даний час методи обробки відеоінформації не перебувають на такому рівні, щоб можна було все відобразити в режимі реального часу. Але з огляду на швидкість розвитку техніки можна припускати, що такі системи протягом декількох років будуть нормальним оснащенням автомобілів.

Система нічного бачення з функцією визначення пішоходів компанії Toyota. В умовах поганої видимості система Night View [16] забезпечує 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 та показуються на рідкокристалічному дисплеї. Якщо пішохід перебуває на відстані 40-100 м, його образ виділяється на дисплеї жовтою миготливою рамкою.

Система попередження зіткнень (Pre-crash Safety System). В системі використовуються радары, які працюють на міліметрових хвилях, і камери. Радар сканує простір перед автомобілем, а електронний блок обчислює швидкість зближення з перешкодою [16] (лідуючим автомобілем). При

порушенні дистанції безпеки система попереджає водія, а при необхідності активує гальмівну систему. Якщо зіткнення неминуче – система активує переднатягувачі ременів безпеки, можуть активуватися й інші системи автомобіля для зниження можливих пошкоджень при аварії. З'являються системи з декількома радарми, скануючими простір не тільки перед автомобілем, але і на бічних виїздах на перехрестя, попереджаючи про можливість фронтально-бокового зіткнення. Радар, встановлений ззаду, активує управління сидіннями в автомобілі, встановлюючи їх в найбільш безпечне положення, для зниження тяжкості наслідків ймовірної аварії з транспортним засобом, що наближається ззаду.

2.1.2. Залізничний транспорт

Цифрова трансформація зачіпає все більше різних сфер. Не стала винятком і транспортна галузь, де з'являються нові завдання в управлінні логістикою та експлуатації інфраструктури. Розвиток технологій штучного інтелекту – драйвер транспортної галузі [18]. Транспортним підприємствам необхідно розвивати цифрові та інтелектуальні технології в управлінні залізничними перевезеннями, локомотивобудуванні, управлінні депо та ремонтними цехами, моніторингу стану доріг, виявленні пішоходів або об'єктів в недозволених місцях, автономному водінні, хмарних сервісах [19]. Це лише деякі приклади застосування штучного інтелекту на залізничному транспорті. Можливості штучного інтелекту дозволяють компаніям більш ефективно прогнозувати попит і вибудовувати ланцюги поставок з мінімальними витратами. Штучний інтелект допомагає скоротити кількість використовуваних транспортних засобів, необхідних для перевезення, оптимізувати час доставки, знизити експлуатаційні витрати транспорту та складських приміщень.

Великим попитом у транспортній сфері користуються технології прогнозування, предиктивної аналітики [20]. Уже зараз накопичено колосальний обсяг даних для оцінки стану експлуатованих одиниць, виявлення

зародження та розвитку аномалій і трендів, що призводять до незапланованих порушень в роботі, фіксації ймовірності відмови та залишкового ресурсу в режимі реального часу роботи. Точне прогнозування технічного та якісного стану дозволяє підприємствам транспортної галузі скорочувати витрати на експлуатацію обладнання, рекламаційне обслуговування та підвищувати конкурентоспроможність.

У світовій практиці набувають все більшого поширення інтелектуальні залізничні системи [21]. Потужний імпульс їхньому розвитку надали сучасні інструменти, такі як гібридні моделі, штучний інтелект, машинне глибоке навчання та інші. Дані технології дозволяють оптимізувати транспортні ресурси, тим самим підвищуючи ефективність перевезень.

У багатьох розвинених країнах в даний час розвиток транспорту базується на проектуванні рухомого складу нового покоління та впровадженні транспортним комплексом інтелектуальних керуючих систем [22]. Причому впровадження комплексних систем із застосуванням штучного інтелекту актуально для всіх видів транспорту.

Метою створення інтелектуальної системи є підвищення ефективності експлуатаційної роботи, а також клієнтоорієнтованості компанії. Функціонал системи включає всі існуючі горизонти планування перевізного процесу, від річного та місячного планування до диспетчерського планування пропуску поїздів. При цьому системи автоматизують наскрізні технологічні процеси для дирекцій управління рухом, тяги, інфраструктури та центру фірмового транспортного обслуговування. Рішення задач планування, узгодження та контролю виконання здійснюється за допомогою мережі взаємодіючих динамічних планувальників інтелектуальних програмно-апаратних модулів [23].

За допомогою даних технологій передбачається зменшити відсоток аварійності на залізницях. Це досягається за рахунок:

- виявлення об'єктів (люди, семафори, шляхи, стрілки);

- збір та обробка поточної інформації в процесі руху;
- своєчасне оповіщення машиніста про небезпеку;
- самостійні рекомендовані дії системи у разі відсутності реагування машиніста.

Також компанії розробляють ряд інноваційних рішень для поїздів. Найбільш важливі розробки, засновані на штучному інтелекті, що пройшли випробування:

- віртуальний помічник маневрового диспетчера. Застосовується з метою зниження часу простою вагонів на сортувальних станціях до 20% [24];
- цифровий помічник для маневрового диспетчера. Застосовується з метою управління самою сортувальною станцією;
- штучні нейронні мережі. Призначені для планування роботи залізничної сортувальної станції [25];
- безпілотні технології та управління на потягах [26];
- квантова мережа. Застосовується для безпечної передачі даних.

Одним з новаторів виступає компанія GE Transportation, яка спеціалізується на розробці та виробництві технологічних установок і транспортних засобів, заснованих на технології штучного інтелекту. У програму входить ряд проектів створення «розумних» локомотивів [27]. Вони дозволяють підвищити коефіцієнт ефективності використання залізниць до 25% завдяки вдосконаленій технічній оснащеності. Головний елемент – мобільні центри обробки даних, пов'язані з сенсорами та високочастотними камерами.

Компанія Skylo Technologies також виступає одним з гравців на ринку новітніх технологій. Включає плани по розробці глобальної вузькосмугової мережі IoT для збору та обробки даних за допомогою автоматизованих пристроїв [20]. У числі інновацій система Skylo Hub, портативні інтегровані супутникові приймачі та концентратори IoT. На основі власної операційної системи компанія створила цифрову антену, яка передає отримані дані з датчиків поїздів за допомогою супутникової телекомунікації.

Індійські залізниці також вступили в технологічну еру ШІ. Так, йде впровадження міток радіочастотної ідентифікації для двигунів і вагонів [28].

На сьогоднішній день визначилися деякі тенденції в галузі застосування штучних технологій в залізничному транспорті.

Цифрові технології та інтернет речей (IoT) – це переваги (можливості) використання включають запобігання сходу поїздів з рейок в результаті зсуву шляхів і температурних коливань за допомогою належного контролю. Проектуються «розумні» рейки та станції, які дозволять в майбутньому коригувати рух поїздів, з подальшим підвищенням їх ефективності.

RFID-система – це система інтелектуального моніторингу та управління, яка використовує в роботі радіосигнали з RFID-мітками [29]. За допомогою RFID-системи здійснюється перевірка безпеки та оновлень на поточний момент і стеження за температурним режимом. В результаті відбувається моніторинг стану та обліку місця розташування кожного вагона в будь-який час, що забезпечує підвищення збереження вантажів.

«Розумні» або інтелектуальні верфі – це технології, які відстежують записи складу, стан і дефекти обладнання та складових елементів поїздів [30]. Оптимізує укомплектування персоналом та точної об'єктивної оцінки пошкоджень. У результаті підвищується продуктивність роботи рухомого складу, безпека проходження, скорочується час обороту вагонів.

Водневий двигун забезпечує нульовий рівень викидів використовуваного палива в атмосферу, тим самим створюючи найбільш сприятливе екологічне середовище для людини. Країни Європи, Азії, Америки почали активно проводити дослідження в даній сфері як орієнтир для технології майбутнього [31].

Гібридний локомотив: «гібридність» полягає в поєднанні технологій і цифровізації. Передбачається, що керувати локомотивом можна буде онлайн, на основі телеметричних даних і технології машинного зору. Робота проводиться за допомогою вбудованих елементів, таких як оптичні камери,

лідар, ультразвукові датчики, обчислювальні блоки обробки даних. Результатом є економія дизельного палива до 30%, завдяки чому продовжується життєвий цикл накопичувача. Також важливо відзначити позитивний вплив на стан екології.

Не стало винятком застосування штучного інтелекту в сфері безпеки залізничного транспорту.

Інтелектуальний аналіз відеозображень може істотно оптимізувати роботу всієї служби безпеки залізничного транспорту [32]. Основне завдання, яке ставиться перед відеоспостереженням, – це запобігання різних інцидентів безпеки, таких як проникнення стороннього на об'єкт, розкрадання, знаходження в забороненій зоні.

Безпека на залізничному транспорті – одна з головних задач галузі. Важливу роль можуть надати застосовувані системи відеоспостереження. В даний час можна стверджувати, що для запобігання «позаштатних» ситуацій необхідно, щоб дані системи були не тільки сучасними, але й «інтелектуальними». Відомо, що до основних цілей і завдань штучного інтелекту належать:

– створення експертних систем, які здатні показати та продемонструвати розумну поведінку: вчитися, показувати, пояснювати та давати поради;

– реалізація людського інтелекту в електронних машинах, тобто створення такої техніки, яка має здатність розуміти, думати, вчити та вести себе як людина.

Унаслідок зіткнень поїздів, сходження з рейок та інших аналогічних аварій залізничні переїзди першими потрапили в фокус уваги. В галузі прийняли рішення розробити таку програму безпеки, яка була б здатна вести безперервне спостереження за транспортними об'єктами та виключала б існування так званих «сліпих зон». Система безпеки має можливість отримувати чітке зображення від тепловізійних камер незалежно від погодних умов і часу доби. Зображення з камер обробляється інструментами

відеоаналітики. У фахівців з безпеки з'являється можливість проявити оперативне реагування на виникаючі позаштатні обставини з метою запобігання аварій, різних збоїв або дій зловмисників.

У той же час варто відзначити, що стежити тільки за поточною обстановкою на вокзалах і станціях недостатньо. Для запобігання злочинів потрібно аналізувати також небезпечні інциденти, звертатися до архівів баз даних, формувати бази даних порушників. Для надання допомоги буде потрібно вже досконала система відеоспостереження принципово іншого рівня – інтелектуальна. Саме вона стане найбільш ефективною та продуктивною для запобігання злочинів.

У даний час інтелектуальні системи відеоспостереження на залізничному транспорті мають в своєму розпорядженні інтелектуальний детектор подій [33], який здатний визначати об'єкт і його властивості, наприклад, габарити, швидкість, траєкторію та напрямок руху, а також фіксувати вкрадені або залишені предмети. Детектор працює, активується безпосередньо в IP-камері або кодєрі та доступний для всіх операторів в системі. Після того як детектор виявляє подію, він передає тривожний сигнал в систему, де є можливість прийняти рішення на виконання необхідної реакції.

2.1.3 Авіаційний транспорт

При підготовці польоту літального апарату (ЛА) або групи літальних апаратів (літаків, вертольотів) завжди ставиться генеральне завдання вильоту (ГЗВ) та призначаються ролі (ранги) ЛА в групі [34]. В процесі виконання польоту в кожен поточний момент часу на будь-якому ЛА групи за допомогою алгоритмів діяльності екіпажу (АДЕ) та алгоритмів, реалізованих в бортових цифрових обчислювальних машинах (БЦОМ-алгоритмів), вирішуються завдання трьох глобальних рівнів управління (ГлРУ):

- завдання оперативного визначення мети (I-ГлРУ – перший глобальний рівень управління);

- завдання визначення раціонального способу досягнення оперативної поставленої мети (II- ГлРУ – другий глобальний рівень управління);

- завдання реалізації прийнятого способу досягнення оперативної поставленої мети (III- ГлРУ – третій глобальний рівень управління).

Завдання I-ГлРУ і II-ГлРУ, які називають тактичними, завжди вирішуються екіпажем ЛА.

На необхідність підтримки БЦОМ-алгоритмами процесу рішення завдань екіпажем вказувалося в численних публікаціях, зокрема в роботах [35-37]. Ці комп'ютерні системи повинні виробляти та пред'являти екіпажу (на інформаційно-керуюче поле кабіни (ІКП)) рекомендації по способу оперативного вирішення завдання, яке несподівано виникло в польоті ЛА.

Інтелектуальні системи, які вирішують завдання I-ГлРУ, працюють на всіх етапах польоту ЛА. Вони повинні інформацією та рекомендаціями підтримувати такі складові процесу вирішення цих завдань екіпажами ЛА: обачність екіпажу, ситуаційну обізнаність екіпажу, ситуаційну впевненість екіпажу.

Опис цих складові (табл. 2.1).

Обачність екіпажу забезпечується пред'явленням йому на ІУП кабіни потенційних загроз цілісності ЛА або виконання ним заданої ГЗВ. Для цього на ІУП створюється інформаційна модель зовнішньої та внутрішньої бортової ситуації з зазначенням потенційних загроз. Модель реалізується БЦОМ-алгоритмами інтегральної/комплексної обробки первинної інформації, що надходить від бортових вимірювальних систем, і БЦОМ-алгоритмами розпізнавання виявлених потенційних загроз з класифікацією їх за типом. Робота таких БЦОМ-алгоритмів не вимагає ні діалогових процедур з екіпажем, ні інформації від нього з ІУП.

Ситуаційна обізнаність екіпажу забезпечується інтелектуальною інформаційною системою «Ситуаційна обізнаність екіпажу» (ІВС СОЕ). Ця система серед потенційних загроз, виділених в бортовій інформаційній моделі

зовнішньої та внутрішньобортової обстановки, визначає ті, які безпосередньо загрожують виконанню поточного етапу польоту ЛА або цілісності ЛА. Назвемо їх безпосередніми загрозами (НУГ).

Таблиця 2.1 – Складові рішення задачі оперативного визначення мети

Складові завдання оперативного визначення мети	БЦОМ-алгоритми забезпечення процесу вирішення задачі оперативного визначення мети	Інформація екіпажу на ІУП, яка надається БЦОМ-алгоритмами	Участь екіпажу в роботі БЦОМ-алгоритмів, які забезпечують вирішення задачі оперативного визначення мети
Обачність	Алгоритми інтегральної обробки первинної інформації Алгоритми виділення потенційних загроз	Інформаційна модель зовнішньої і внутрішньобортової обстановки Потенційні загрози в інформаційній моделі зовнішньої та внутрішньобортової обстановки	Немає Немає
Ситуаційна обізнаність	ІВС СОЕ	НУГ в інформаційній моделі зовнішньої та внутрішньобортової обстановки	Немає
Ситуаційна впевненість	БОСЕС-цілепокладання	Рекомендована поточна мета польоту ЛА (рекомендована ТС)	1. Підтвердження НУГ. 2. Кількісна оцінка ситуації, що склалася

Виявлені НУГ надаються екіпажу на ІУП кабіни ЛА в інформаційній моделі зовнішньої та внутрішньобортової обстановки. Екіпаж використовує інформацію з ІВС СОЕ для рішення завдання оперативного визначення мети відповідно до виконуваної генерального завданням вильоту і рангом ЛА в групі. Робота ІВС СОЕ також не вимагає ні діалогових процедур з екіпажем, ні інформації від нього з ІУП.

Ситуаційна впевненість екіпажу забезпечується бортовою оперативною

інформацією, що рекомендується експертною системою оперативного визначення мети (БОСЕС-цілепокладання). Вона при появі безпосередньої зовнішньої та внутрішньобортової загрози успішному виконанню польотного завдання завчасно пред'являє екіпажу на ІУП рекомендацію по поточній меті польоту ЛА. Ця рекомендація узгоджена з виконуваним ГЗВ і виділеною екіпажем НУГ, що надійшла з ІВС СОЕ [38]. Фрагменти таких рекомендацій екіпажу за нової мети польоту з'являються на деяких ЛА в ситуації, коли виникають безпосередні загрози.

База знань ІВС СОЕ складається з трьох блоків: блоку спостереження потенційних загроз, блоку виділення безпосередніх загроз, блоку класифікації безпосередніх загроз.

Блок спостереження потенційних загроз отримує від бортових інформаційних засобів, від БЦОМ-алгоритмів інтегральної/комплексної обробки інформації, всі виявлені потенційні загрози:

- 1) зовнішні загрози;
- 2) внутрішньобортові загрози;
- 3) загрози недостатності бортових коштів, що витрачаються.

У табл. 2.2 і 2.3 показані деякі загрози з перерахованих типів і бортові пристрої, які можуть виявляти відповідну загрозу [39]. Зазвичай для потенційних загроз інженери здійснюють експертну оцінку часу, який необхідний екіпажу для прийняття рішень про можливість і тип протидії загрозі. Ця оцінка може використовуватися в блоці виділення безпосередніх загроз.

Виявлені безпосередні загрози передаються в блок класифікації виділених загроз, де відбувається їх класифікація та ранжування по моментам настання «точок неповернення».

Приклад визначення «точки неповернення» в ситуації відмови двигунів вертольоту. У разі зупинки двигунів вертоліт може опуститися на землю на авторотуючому гвинті. В цьому режимі зазвичай виникає дуже велика

швидкість зниження. Для її зменшення при підході до землі давно пропонувався дуже простий прийом «Підрив»: перед самим ударом об землю льотчик різко збільшує крок несучого гвинта. Це створює додаткову підйомну силу, що гальмує спуск вертольоту.

Несучий гвинт є як би акумулятором енергії, і цю енергію можна витратити для гальмування спуску. Гвинт при цьому швидко втрачає свої обороти, і ефект гальмування зникає. Тому прийомом «Підрив» слід користуватися на кінцевій ділянці зниження, забезпечивши мінімальну швидкість зниження в момент торкання землі.

Спрощена математична модель розвитку цієї потенційної загрози при наступних припущеннях:

- зниження вертольоту на режимі авторотації відбувається без горизонтального переміщення, швидкості спуску;

- після виконання «підриву» виникає додаткова підйомна сила, яка повідомляє вертольоту постійне гальмуюче прискорення, що забезпечує достатню для спуску вертольоту швидкість;

- при торканні землі допустима швидкість вертольоту повинна бути не більше встановленої, яка визначається міцністю шасі вертольоту;

- бортовий радіовисотомір (РВ) постійно вимірює поточну висоту вертольоту НРР щодо поверхні землі.

Тоді визначення «точки неповернення» (залишок часу до підриву) для НУГ «Зупинка двигуна» здійснюється наступним чином:

потрібне гальмує прискорення

$$\alpha_{\Pi} = \frac{v_{авт} - v_{дон}}{t_{\Pi}}; \quad (2.1)$$

висота підриву

$$H_{подр} = v_{авт} \cdot t_{\Pi} - \alpha_{\Pi} \frac{t_{\Pi}^2}{2} = \frac{t_{\Pi}}{2} (v_{авт} + v_{дон}); \quad (2.2)$$

залишок часу до підриву

$$t = \frac{H_{PB} - H_{подр}}{V_{авт}}; \quad (2.3)$$

Математична модель розглянутої безпосередньої загрози використовується в базі знань ІВС СОЕ-вертольоту для розрахунку «точки неповернення» і передачі її в «Блок класифікації безпосередніх загроз».

Блок класифікації безпосередніх загроз. У блоці для подальшого вирішення завдання оперативного визначення мети в ІВС СОЕ повинна бути виконана класифікація НУГ [40].

Зовнішні загрози:

- при виконанні польоту групою вертольотів/одним вертольотом можуть виникати загрози, що впливають на якість виконання вертольотом ГЗВ, загрози опікуваного їм іншого об'єкта або команда з зовнішнього джерела, яка пропонує змінити/скорегувати виконувану ГЗВ. При цьому момент виявлення загрози забезпечує резерв часу екіпажу на осмислення ситуації і на вироблення рішення на протидію загрози;

- загрози цілісності вертольоту, момент виникнення яких забезпечує екіпажу вказаний вище резерв часу;

- загрози цілісності вертольоту, момент виникнення яких не забезпечує екіпажу вказаний вище резерв часу;

Внутрішньобортові загрози:

- при виконанні польоту виникають загрози, що впливають на якість виконання ГЗВ самим вертольотом. При цьому момент виявлення загрози забезпечує екіпажу вказаний вище резерв часу;

- загрози цілісності вертольоту та здоров'ю його екіпажу, момент виникнення яких забезпечує екіпажу вказаний вище резерв часу;

- загрози цілісності вертольоту та здоров'ю його екіпажу, момент виникнення яких не забезпечує екіпажу вказаний вище резерв часу.

ІВС СОЕ класифікує загрози, виділяючи зазначені вище типи зовнішніх і внутрішньо-бортових загроз.

У табл. 2.2, 2.3 наведені приклади класифікації деяких зовнішніх загроз (табл. 2.2), внутрішньобортових загроз (табл. 2.3). Окремим стовпцем в таблицях відзначені бортові засоби інструментального виявлення названих загроз та експертні оцінки часу, необхідного екіпажу для прийняття відповідного рішення.

Таблиця 2.2 – Зовнішні загрози

№ п/п	Загрози	Бортові засоби інструментального виявлення	Оцінка часу, який необхідний екіпажу для прийняття рішення
1	Маршрут проходить через зони небезпечної метео-ситуації	Радіолокаційна станція (РЛС)	Від 4 с
2	Неприпустима близькість до забороненої зони польоту, кордони якої задані за допомогою ІУП	БЦОМ	Від 4 с
3	Небезпечне зближення з землею	Радіовисотомір (РВ)	Від 4 с
4	Небезпечне зближення з іншим ЛА при одиночному польоті	Система запобігання зіткнень (TCAS)	Від 4 с
5	Небезпечне скорочення дистанції між ЛА при польоті в групі	TCAS	Від 4 с
6	Небезпека зіткнення з перешкодою	РЛС	Від 4 с

Таблиця 2.3 – Внутрішньобортові загрози

№ п/п	Загрози	Бортові засоби інструментального виявлення	Оцінка часу, який необхідний екіпажу для прийняття рішення
1	Підвищена вібрація вертольоту	Датчики вібрації	Від 4 с
2	Стружка в редукторі	Сигналізатор стружки	Від 2 с
3	Неприпустима температура мастила в редукторі	Сигналізатори температури	Від 2 с
4	Неприпустимий тиск мастила в редукторі	Сигналізатор тиску мастила	Від 2 с
5	Відмова двигуна	Система реєстрації стану двигуна	Від 4 с
6	Режим «Вихрове кільце»	БЦОМ	Від 4 с

На бортах існуючих вертольотів можна зустріти фрагменти бази знань системи ІВС-СОЕ вертольоту, що виділяють тільки певний тип загроз.

2.1.4 Водний транспорт

Системи автоматизованого управління (САУ) суднових систем класифікують за різними ознаками, виходячи з їх призначення, принципу дії, динамічних властивостей [41].

Класифікація систем управління судна починається з верхнього ієрархічного рівня управління – автоматизованої системи управління (АСУ) судна та закінчується нижнім – локальними САУ (рис. 2.1).

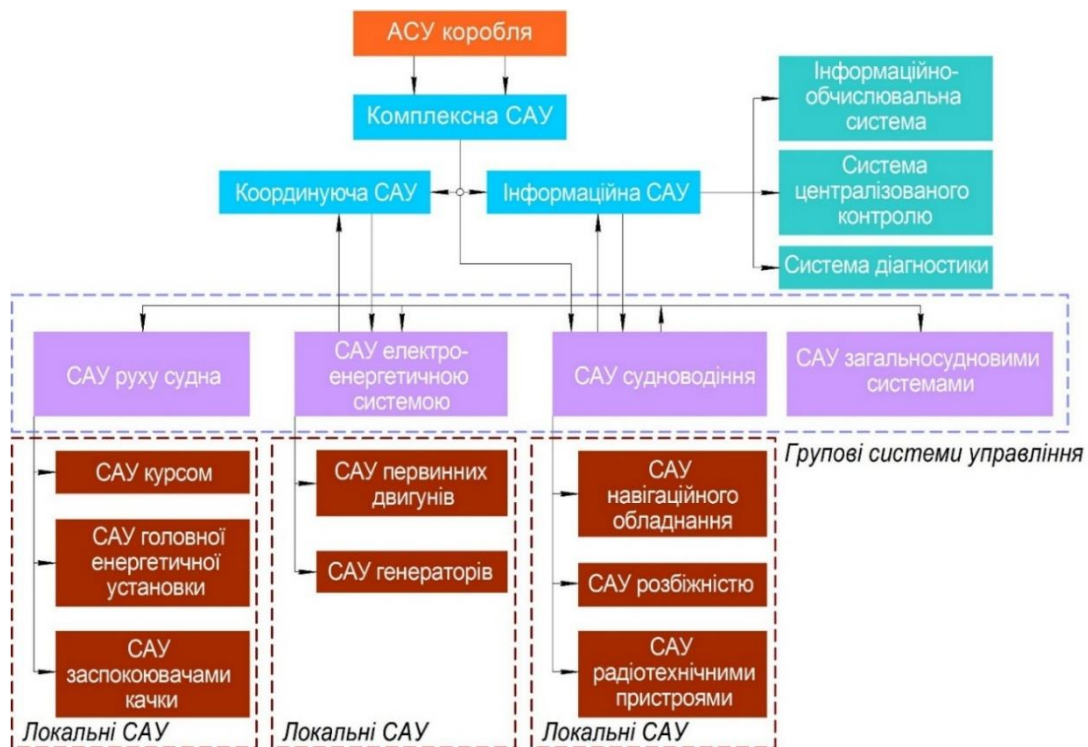


Рисунок 2.1 – Блок-схема систем управління судном

Така класифікація враховує не тільки призначення окремих систем управління та функціональних комплексів, їх інформаційну взаємодію, але також підпорядкованість і координованість всіх систем управління на судні.

Єдина система управління, що забезпечує управління всіма технічними

засобами судна, представляє собою комплексну систему управління судном. Аналогічно – єдина система управління, що забезпечує управління САУ судна, представляє собою комплексну систему управління.

До технічних засобів судна відносять об'єкти, які виконують такі функції [42]:

1. руху, маневрування та стабілізації координат судна як рухомого об'єкта;
2. забезпечення енергією різних судових споживачів;
3. функціонування судового устаткування, пристроїв і механізмів;
4. навігації та зв'язку, а також забезпечення живучості та населеності судна.

На транспортних, промислових та інших судах до технічних засобів відносяться, крім того, технологічне обладнання засобів цільового призначення – засоби видобутку та переробки сировини, навантаження, розвантаження та зберігання вантажів.

Комплексна САУ об'єднує [43] координуючу, інформаційну та групові системи управління. На них покладено різні завдання. Координуюча САУ забезпечує координацію процесів управління технічними засобами судна. Інформаційна САУ виконує різні види оперативного контролю стану технічних засобів, з сигналізацією аварійних режимів, їх реєстрацією та технічним діагностуванням. Прикладами інформаційних САУ є інформаційно-обчислювальна система, система централізованого контролю та система діагностики. До складу групових САУ входять системи управління об'єктами, призначеними для виконання спільного завдання судна – здійснення транспортного процесу. Прикладами таких систем є система управління рухом судна, що забезпечує узгоджену взаємодію технічних засобів: рульових пристроїв, рушіїв, заспокоювачів качки, системи управління електроенергетичною системою.

Системи, що забезпечують безпосереднє виконання технічних і

технологічних операцій, відносяться до групи локальних САУ, що входять до складу відповідних групових САУ. Локальні САУ знаходяться на нижньому рівні ієрархічної структури, але вони також виконують самостійні функції та можуть бути автономними.

Наприклад, локальними в САУ рухом судна є системи управління курсом, головною енергетичною установкою, заспокоювачами хитання. До групових САУ електроенергетичною установкою відносяться системи управління генераторами, призначені для регулювання напруги в судновій електроенергетичній системі, і системи управління первинними двигунами.

Важливою складовою частиною будь-якої САУ є керований об'єкт – технічний пристрій або сукупність пристроїв, пов'язаних єдністю технічних процесів або єдністю вирішуваних завдань, які потребують спеціально організованих зовнішніх впливів для досягнення заданих цілей функціонування.

До судових керованих об'єктів належать: судно, головна енергетична установка (що представляють собою сукупність технічних пристроїв), а також окремі технічні пристрої, такі як турбогенератор, холодильна машина, рульовий пристрій.

Будь-яку систему управління, в тому числі судову, можна представити у вигляді взаємодіючих між собою частин: пристрою, що управляє, перетворювача енергії, керованого об'єкта та інформаційно-вимірювальної системи.

Складність керуючого пристрою, що залежить як від складності розв'язуваної задачі управління, так і від складності керованого об'єкта, багато в чому визначає насиченість САУ інформаційно-вимірювальними засобами [44].

За наявності основного зворотного зв'язку САУ діляться на замкнуті та розімкнуті системи. Регулювання за принципом відхилення регульованої величини можливо в тому випадку, якщо вихід об'єкта пов'язаний з входом

регулятора. Такі системи називають замкнутими. Тобто, в замкнутих системах регулюючий вплив залежить від результату його впливу на об'єкт. Це дозволяє підвищити точність регулювання. У розімкнутих системах регулюючий вплив не залежить від результату його впливу на об'єкт, тобто від регульованої величини. Розірвані системи, як правило, менш складні по влаштуванню, ніж замкнуті. Разом з тим, виконувані ними функції більш прості, ніж функції замкнутих систем.

До розімкнених систем відносяться системи контролю. Така система (рис. 2.2) складається з об'єкта, вимірювального, підсилювального елементів і реєструючого пристрою. За допомогою цієї системи здійснюється контроль над роботою установки, і, в разі несправності останньої, оператор впливає на об'єкт. Таким чином, оператор виконує роль головного елементу системи зворотного зв'язку.

За наявності посилення в лінії передачі керуючого впливу САУ діляться на системи прямої та непрямой дії. В системі прямої дії вимірювальний елемент регулятора безпосередньо впливає на регулюючий орган об'єкта. Якщо вимірювальний орган не в змозі розвинути потужність, достатню для швидкої зміни положення регулюючого органу, застосовується система непрямого управління, в якій сигнал від вимірювального елемента посилюється в підсилювачі за рахунок додаткових джерел енергії.

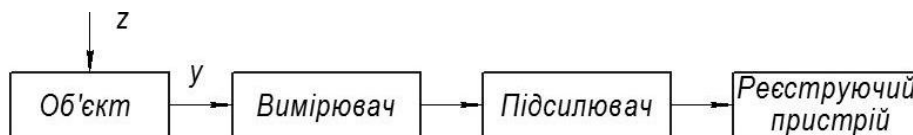


Рисунок 2.2 – Структурна схема системи контролю

За характером зв'язку між окремими елементами САУ діляться на системи безперервного та періодичного управління [44]. В системі регулювання безперервної дії зміні вхідної величини відповідає безперервна зміна вихідних величин всіх ланок. Прикладом системи безперервного регулювання може

служити система регулювання рівня води в ємності. Системи регулювання, у яких хоча б в одному елементі виконуються розриви зміни вихідних величин при безперервному зміні вхідного впливу, називаються переривчастими.

Залежно від того, якою є ланка, в якій порушується безперервність, ці системи діляться на дві групи: імпульсні і релейні [45]. В імпульсних системах безперервний сигнал, що йде, як правило, з вимірювального елемента, перетворюється в ряд коротких імпульсів шляхом короткочасного підключення виходу вимірювального елемента, чим вдається забезпечити його високу чутливість. До імпульсних систем відносяться також системи управління, що включають цифрові машини. Релейні системи – це системи, в яких міститься хоча б один релейний елемент, що перетворює безперервну зміну вихідної величини в ступінчастий сигнал.

Залежно від алгоритму управління системи діляться на системи стабілізації, що стежать, і програмного регулювання. Системи стабілізації призначені для підтримки регульованих величин в заданих межах. Найбільшого поширення вони набули в енергетичних установках. Ці системи, в свою чергу, можна поділити на статичні та динамічні. Статичною системою автоматичного регулювання називається система [46], яка з допустимою помилкою відтворює на виході вхідну величину. Регульована величина в такому випадку називається відомою, а вхідна величина – провідною або командним (керуючим) сигналом. За принципом статичної системи працюють системи дистанційного керування найрізноманітнішими об'єктами, системи телеуправління, тобто управління на далекій відстані.

Системи автоматичного регулювання, в яких регульована величина змінюється за певним, заздалегідь заданим в часі законом, називаються системами програмного регулювання. Так, наприклад, регулювання частоти обертання ДГ при пуску може відбуватися за певною програмою, яка передбачає роботу холодного дизеля на малих обертах до його прогріву з подальшим збільшенням числа оборотів до номінального значення.

Залежно від характеру виконуваних функцій розрізняють наступні САУ [47]: системи автоматичного регулювання, дистанційного автоматизованого або програмного керування, автоматичного захисту та блокування, автоматичної сигналізації та контролю. Для перетворення енергії об'єкта управління необхідно підтримувати деякі величини або постійними, або змінними за певними залежностями. Для цього використовують спеціальні засоби, які виконують свої функції без участі людини-оператора та називаються системами автоматичного регулювання (САР). Системи автоматичного регулювання, призначені для підтримки однієї величини в заданих межах, отримали назву автоматичних регуляторів. Прикладами можуть служити автоматичні регулятори частоти обертання валу дизель-генератора, рівня води в барабані котла, тиску в паровій магістралі.

Системи дистанційного керування дозволяють оператору на відстані включати та вимикати окремі механізми, частини установки або установку в цілому, змінювати режими їх роботи, впливати на регулюючі та запірні клапани [48]. Якщо оператор послідовно виконує всі операції з пульта управління, розташованого на відстані від об'єкта управління, то таку систему називають системою дистанційного керування (системою ДУ). Якщо ж людина-оператор лише задає потрібний режим з пульта управління, а всі проміжні операції управління здійснюються автоматично за заданим алгоритмом, таку систему називають системою дистанційно-автоматизованого управління (ДАУ).

Прикладом системи ДАУ служить система управління головним судновим дизелем. За допомогою важеля управління, розташованого на пульті в рульовій рубці або на центральному посту управління (ЦПУ), здійснюють пуск, зміну режимів роботи, реверс і зупинку дизеля.

Автоматичне запобігання аварійним ситуаціям забезпечують системи автоматичного захисту та блокування [49]. Ці системи призначені для зупинки механізмів при досягненні контрольованими величинами встановлених

граничних значень (відключення подачі палива в газову турбіну відбувається при перевищенні певного значення температури газу), а також для попередження можливих порушень послідовності перемикачів, здатних привести до аварії (не можна зробити реверс дизеля, поки рукоятка управління подачею палива не поставлена в положення «Стоп»).

Крім того, системи автоматичного захисту та блокування включають резервні технічні засоби, наприклад, при падінні тиску масла на лінії нагнітання масляних насосів дизеля включаються резервні електронасоси. Застосування таких систем підвищує надійність установки та спрощує її обслуговування.

Отримання інформації по зовнішній обстановці, стану об'єкта управління, визначення на основі обробки отриманих даних необхідних управлінських заходів – основні функції систем автоматизованого контролю та сигналізації. Вимірювання поточних значень контрольованих величин (тиску, температури) об'єктивно характеризують хід процесу, порівняння їх з допустимими значеннями складають інформаційне забезпечення систем автоматизованого контролю.

Для спостереження за абсолютними значеннями контрольованих величин до складу систем автоматизованого контролю входять різні інформаційні прилади, елементи пристрою, послідовно підключають ці прилади до різних датчиків, пристрою реєстрації поточних значень контрольованих величин (самописці, які друкують пристрої), перетворювачі та інші пристрої. Система автоматичної сигналізації є частиною системи автоматизованого контролю. До її складу входять різні датчики та прилади сигналізації (світлові табло, лампочки, мнемосхеми, звукові прилади), що сповіщають обслуговуючий персонал про досягнення заданих або граничних значень контрольованих величин.

Поршневі ДВС удосконалюються по цілому ряду напрямів, які обрані на основі світового досвіду розробки, доведення та експлуатації техніки двигунобудування. Одним із найважливіших шляхів розвитку сучасних ДВС та

агрегатів на їх базі є оснащення їх «розумними» (інтелектуальними) системами [50], які здійснюють функції автоматизованого або автоматичного управління, регулювання, контролю, обслуговування та захисту, автоматичної безрозбірної діагностики, адаптації двигуна (агрегату) до мінливих умов експлуатації, в тому числі по режимам навантаження та частоті обертання.

Протягом уже багатьох років фахівці галузі двигунобудування працюють над питаннями комплектації двигунів та агрегатів на їх базі системами автоматизації (в тому числі комплексними), значно скорочують витрати в експлуатації на обслуговуючий персонал, що виключають можливість роботи агрегатів в аварійних режимах, що забезпечують оптимальні температурні умови в системах охолодження та мастила, оптимальні режими при маневруванні та оперативності виконання команд, що дають можливість експлуатації агрегатів в економічних режимах.

До недавнього часу повний набір функцій систем автоматизації з ДВС складався з окремих підсистем, які вирішують ті чи інші завдання. Класичне уявлення про систему комплексної автоматизації (сьогодні це уявлення значно розширено) має на увазі [50], що ця система складається з приватних систем, що автоматизують певні процеси управління, регулювання, контролю, захисту та обслуговування, причому ці приватні системи взаємопов'язані. При побудові єдиних схем комплексної автоматизації ці зв'язки систем враховуються.

Давно встановлено, що системи автоматичного регулювання (САР) є найважливішою складовою частиною систем автоматизації та в сучасній практиці створені у вигляді автономних, пов'язаних з комплексною системою автоматизації, головним чином, через орган завдання регуляторів (програмування, дистанційне керування частотою обертання).

Більшість приватних систем, складових системи «інтелектуальної» комплексної автоматизації ДВС (агрегатів на їх базі) [51], вирішують кожна своє завдання, можуть бути розглянуті на основі загальної для них теорії дискретних систем. Під дискретними розуміються такі системи, які

складаються з пристроїв разової (стрибкоподібної) дії. В іншому випадку ці системи та пристрої, до яких вони входять, називають релейними (на відміну від дискретних систем система автоматичного регулювання частоти обертання ДВС відноситься, як відомо, до аналогових). Розрахунок, аналіз і синтез дискретних систем підкорюються своїм закономірностям, вивченням яких займається теорія релейних пристроїв і систем.

Умови експлуатації судна (стану водної поверхні, течії, напрямку та сили вітру, стану атмосфери) впливають на роботу всіх судових систем і механізмів. У штормову погоду всі системи управління працюють в напруженому режимі. Збурювання, що діють на судно, носять випадковий, непередбачуваний характер, що не може не враховуватися при проектуванні судових САУ. Вони визначають вибір методу проектування та складність реалізації керуючих пристроїв.

У Правилах Регістру [52] встановлено граничні значення зовнішніх впливів, при яких не повинна порушуватися надійність роботи засобів і пристроїв систем керування. До механічних впливів для всіх пристроїв і засобів відносяться: тривалий крен до 15° і диферент до 10° (для автоматики аварійної електричної установки одночасно тривалий крен до $22,5^\circ$ і диферент до 10°); бортова хитавиця до $22,6^\circ$, вібрація з частотою до 25 Гц і прискоренням до 5 м/с^2 (для систем автоматичного захисту – 50 Гц і 25 м/с^2); ударні струси з прискоренням до 30 м/с^2 . Рухливі контакти електричних елементів в автоматичній не повинні відключатися при бортовій хитавиці менше за 45° . Для судів з необмеженим районом плавання засоби та пристрої систем управління повинні надійно працювати при наступних атмосферних умовах: відносна вологість до $95 \pm 3\%$ при температурі $25 \pm 2^\circ \text{ C}$ і $80 \pm 3\%$ при $40 \pm 2^\circ \text{ C}$; температура повітря від 0 до 45° C в приміщеннях з джерелами тепла (двигуни, котли, парові трубопроводи і т. п.), від -30° C до $+45^\circ \text{ C}$ на відкритій палубі та в напівзакритих приміщеннях, від -10° C до $+40^\circ \text{ C}$ в решті приміщень.

Для судів з районом плавання не тропічного поясу верхня межа

температури повітря, незалежно від місця розташування апаратури, приймається 40 °С. На роботі електричних та електронних засобів автоматизації не повинні позначатися: тривале відхилення напруги в межах від 6 до 10% і короткочасне (не більше 1.5 с) – від 10 до 15%; тривале відхилення частоти в межах + 5% і короткочасне (не більше 5 с) в межах $\pm 10\%$.

2.1.5 Безпілотні системи

Відомо, що інтелектуальні технології призначені для боротьби з факторами невизначеності, що діють на систему [53] (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Приклади факторів невизначеності, що діють на систему

Види підсистем	Форми прояву невизначеностей	Джерела невизначеностей	Приклади виникнення невизначеностей
1	2	3	4
Виконавчі	Зміна коефіцієнтів і виду диференціальних рівнянь, що описують функціонування виконавчих елементів з навантаженням	Зміна кінематичних зв'язків маніпулятора; взаємний вплив ступенів рухливості; температурні зміни коефіцієнта в'язкого тертя	Зміна моментів інерції при зміні конфігурації маніпуляційного робота
	Зміна характеру нелінійних перетворень в каналі управління виконавчими механізмами	Невідповідність динамічних характеристик силових ключів й діодів захисту необхідному частотному діапазону; обмеження, пов'язані зі зміною рівня живлячої напруги; зміна коефіцієнтів сухого тертя, величини люфтів і зазорів передавальних елементів приводів	Збільшення струмів витoku діодів захисту силових транзисторів, пов'язане з їх частотними характеристиками, температурними змінами та старінням
	Збурення, приведені до валу виконавчого двигуна	Зміна моментів навантаження та тертя; взаємний вплив ступенів рухливості	Зміна маси через витрати палива в процесі руху
	Збурення, приведені до входу виконавчого двигуна	Зміна напруги живлення, зміна опору керуючих ключів (частотні, температурні, тимчасові); частотні зміни динамічного коефіцієнта передачі	Зміна опору ключів, пов'язане з їх перегрівом; стрибки напруги живлення, пов'язані з зміною навантаження в ланцюзі

Продовження табл. 2.4

1	2	3	4
Управління рухом	Відсутність апріорної інформації про здійсненності необхідних маневрів з урахуванням динамічних характеристик об'єкта управління та реальних умов його роботи	Відсутність досвіду виконання аналогічних маневрів	Рух мобільного робота з різним навантаженням по заданій криволінійній траєкторії
	Відсутність або неповнота апріорної інформації про особливості середовища функціонування і характер її зміни	Зміна середовища функціонування; неможливість вимірювання (з яких-небудь причин) всіх необхідних складових змін середовища	Планування переміщень в середовищі з рухомими перешкодами
	Різноманіття альтернативних варіантів реалізації рухів	Відсутність жорстко заданих критеріїв функціонування; відсутність досвіду виконання аналогічних маневрів	Можливість обходу перешкоди по різних траєкторіях
Планування поведінки	Неможливість формування планів досягнення поставленої мети з огляду на спільності її опису	Недостатня конкретизація постановки мети (що вимагає уточнення)	Спільність цілевказівки «Збери піраміду», в якому не вказані положення місця збірки, вид і кількість елементів
	Неможливість формування планів досягнення поставленої мети з огляду на апріорну невідомість фізичних параметрів середовища і її об'єктів	Апріорна невідомість фізичних параметрів зовнішнього середовища і її об'єктів	Відсутність апріорних даних про фізичні властивості об'єктів (масі, міцності), які виявляються при розвідці
	Неможливість формування планів досягнення поставленої мети з огляду на апріорну невідомість діючих в середовищі закономірностей	Апріорна невідомість діючих в середовищі закономірностей	Відсутність апріорних даних про фактичні причинно-наслідкові зв'язки, які проявляються при розбиранні непізнаних об'єктів, знешкодженні вибухових пристроїв

Продовження табл. 2.4

1	2	3	4
	Неможливість формування планів досягнення поставленої мети через відсутність достовірної інформації про необхідні ресурсах	Відсутність достовірної інформації про необхідні ресурсах	Відсутність достовірних даних про фактичну витрату палива безпілотного літального апарату, що здійснює політ в умовах незапланованої погодної обстановки
	Різноманіття альтернативних варіантів реалізації поставленої мети	Неоднозначність вирішення завдання по досягненню поставленої мети; занадто загальний критерій функціонування	Можливість досягнення поставленої мети на основі різних сценаріїв поведінки при складанні піраміди з набору кубиків
Інформаційно-вимірвальні	Дискретний характер інформаційного сигналу (як по амплітуді, так і за часом)	Низька розрядність цифрових датчиків; низька швидкість обробки інформації	Керування автономними мобільними роботами, БПЛА та іншими рухомими об'єктами за інформацією від GPS (з частотою опитування 1 Гц)
	Недостатня точність датчиків інформаційно-вимірвальної підсистеми	Великі похибки (конструктивні і методичні) і низька роздільна здатність датчиків	Управління автономними мобільними роботами, БПЛА та іншими рухомими об'єктами за інформацією від GPS (з точністю визначення координат на плані +3 ... 5 м, по висоті ± 20 м)
	Кліматична і тимчасова нестабільність вихідного сигналу датчиків (дрейф і відходи)	Конструктивні особливості побудови датчиків	Обчислення навігаційної інформації на основі показань малогабаритних напівпровідникових приладів зі значеннями тимчасових доглядів до декількох десятків кілометрів, що накопичуються за годину
	Суперечливість показників датчиків	Різні точності, дрейф і частоти опитування	Різниця показань GPS і інерційної навігаційної системи

Вони мають цілком реальний фізичний зміст і можуть виникати в виконавчих підсистемах, при управлінні рухом, при плануванні поведінки, при обробці різнорідної, а іноді й суперечливої інформації. Якщо на виконавчому рівні частину проблем можна вирішити за рахунок застосування адаптивних методів управління [54], то на інших рівнях альтернативи інтелектуальним технологіям немає. Автономність та інтелектуальність стають синонімами.

Бортовій системі управління мобільного об'єкта на тлі дії зазначених факторів невизначеності доводиться вирішувати такі ключові завдання: постановка та коригування мети управління; формування та коригування програми дій; формування алгоритму управління (структурна і/або параметрична настройка регулятора).

Досить очевидно, що зазначені завдання можуть бути вирішені тільки за рахунок залучення інтелектуальних технологій. При цьому інтелектуальні системи автоматичного управління (ІСАУ) необхідно будувати, використовуючи такі базові положення [55]:

- принцип ситуаційного управління;
- ієрархічний принцип побудови, що передбачає наявність в загальному випадку виконавчого, тактичного та стратегічного рівнів управління та інформаційно-вимірювальної підсистеми;
- інтеграція різних інтелектуальних технологій (експертних систем, нейромережевих структур, нечіткої логіки та асоціативної пам'яті) при реалізації управління на різних рівнях ієрархії;
- адекватність ступеня інтелектуальності системи впливу факторів невизначеності.

Що стосується перших трьох принципів, то вони досить добре обговорювалися в літературі [56-57]. Більшість розробників розуміють, що для вирішення завдання управління на базі технологій обробки знань альтернативи методу ситуаційного управління немає, і що комбінація інтелектуальних технологій визначається технічними вимогами до ІСАУ на відповідному рівні

ієрархії управління.

Більш детально розглянуто та обґрунтовано четвертий принцип [58], який має далеко не тільки науково-методичне або термінологічне значення, а й важливе практичне значення, оскільки дозволяє замовнику та розробнику однаково трактувати ту чи іншу систему, її функціональні можливості, а, відповідно, визначати терміни та вартість розробки. Схема, наведена на рис. 2.3, відповідає тим ключовим завданням, які перераховані, і показує адекватність ступеня інтелектуальності бортової системи управління діючим на неї факторам невизначеності.



Рисунок 2.3 – Адекватність ступеня інтелектуальності бортової системи управління факторам невизначеності

Якщо фактори невизначеності такі, що їх можна усунути підстроюванням регулятора (алгоритму) та зробити це за рахунок інтелектуального контуру, що включає базу знань і механізм логічного вибору, то цю систему слід називати інтелектуальною в малому. Якщо потрібно змінити програму дій і, відповідно, підключити блок самонавчання (і прогноз), то це буде система, інтелектуальна в великому. Якщо система сама здатна коригувати мету управління (активно працюють блоки прогнозу та самонавчання), то ця система називається інтелектуальною в цілому.

Розвиток технології обробки знань для вирішення завдань управління вимагає більш детальної класифікації завдань за рівнями ієрархії інтелектуального керування. Особливо слід відзначити, що до завдань стратегічного рівня останнім часом все частіше та цілком обґрунтовано відносять планування групової взаємодії автономних об'єктів та організацію людино-машинного інтерфейсу. Основні теоретичні результати наведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Теоретичні рівні для створення інтелектуальних систем управління автономними мобільними об'єктами

Рівні ієрархії інтелектуального управління	Методи і алгоритми
Стратегічний рівень	<ul style="list-style-type: none"> - Алгоритми планування поведінки на основі аналізу фреймообразних сценаріїв - Алгоритми узагальнення накопиченого досвіду на основі індуктивної логіки Мілля - Алгоритми автоматичної настройки та самонавчання на основі методів еволюційного програмування та імовірнісних моделей
Тактичний рівень	<ul style="list-style-type: none"> - Алгоритми планування переміщень, інваріантні до кінематичній схемі об'єкта - Алгоритми обходу перешкод - Алгоритми динамічної розв'язки багатоланкових механізмів на основі технології асоціативної пам'яті
Виконавчий рівень	<p>Принципи побудови та програмно-алгоритмічне забезпечення системи управління приводами на основі технологій: нечіткої логіки, нейронних мереж, асоціативної пам'яті, що забезпечують:</p> <ul style="list-style-type: none"> - високу точність; - оптимальне швидкодію; - необхідні принципи функціонування; - економію енергоспоживання
Інформаційно-вимірювальний рівень	<ul style="list-style-type: none"> - Алгоритми збору, обробки різномірної суперечливою неповної інформації на основі технології нечіткої логіки - Алгоритми розпізнавання образів на основі нейронних мереж - Алгоритми розпізнавання образів на основі комплексного застосування нечіткої логіки та рядів Уолша - Алгоритми діагностики об'єкта на основі технології експертних систем - Алгоритми параметричної та функціональної ідентифікації на основі нейронних мереж
Людино-машинний інтерфейс	Алгоритми смислової інтерпретації фраз природної мови на основі технології фреймів образних структур
Планування групової взаємодії	<ul style="list-style-type: none"> - Алгоритми обробки сценаріїв поведінки - Алгоритми цілерозподілення

Разом з тим необхідно відзначити деякі складнощі, пов'язані зі створенням інтелектуальних систем управління для автономних міні-і мікрооб'єктів:

- незважаючи на те, що почався випуск окремих навігаційних датчиків, існує гостра необхідність у створенні комплексної безплатформної малогабаритної навігаційної системи, що забезпечує вимір кутів орієнтації, визначення геомагнітного курсу, швидкості та пройденого шляху з високою точністю;

- відсутні малогабаритні бортові пристрої, що забезпечують повний цикл обробки відеоінформації, необхідний не тільки для передачі її оператору, а й для організації контура зворотного зв'язку в системі управління. По суті потрібна гамма інтелектуальних відеокамер, здатних підтримувати функціональні вимоги, що пред'являються до інтелектуальних (у великому або в цілому) системам управління автономними об'єктами;

- з огляду на загальну тенденцію створення цифрових бортових систем [59], що мають очевидні переваги перед аналоговими, необхідне створення датчиків з цифровим виходом і виконавчих пристроїв з цифровим виходом. Оскільки інтелектуальні системи управління автономними мобільними робототехнічними засобами вимагають комплексного різноманітного інформаційного забезпечення та припускають організацію керуючих впливів відповідно до обґрунтованої ієрархії управління, то в якості уніфікованої бази для передачі цифрових інформаційних і керуючих сигналів може розглядатися така перспективна технологія, як CAN, що дозволяє обробляти до 250 датчиків і виконавчих пристроїв, та ефективно застосовується як у нас в країні, так і за кордоном. Така концепція побудови архітектури інтелектуальної бортової системи забезпечить реалізацію єдиного уніфікованого підходу до створення бортових систем для широкого спектру мобільних об'єктів. Відкритим по суті залишається питання про створення гами цифрових перетворювачів, інтегрованих в єдиному корпусі з датчиками та виконавчими пристроями.

Розуміючи можливість, реальність і перспективи створення ІСАУ, необхідно передбачати розвиток засобів інструментальної підтримки процесів їх автоматизованого проектування. Приклади таких рішень стосуються створення інтелектуальних регуляторів для приводів, для управління рухом мобільних роботів, для проектування нейрорегулятора.

Створення автономних об'єктів, здатних функціонувати в широкому спектрі зміни зовнішніх умов, вимагає розробки нових підходів до побудови тренажерних і випробувальних систем. Наприклад, випробування безпілотної техніки безперспективні без створення спеціальних стендів, побудованих із застосуванням технологій віртуальної реальності, в яку може «занурюватися» об'єкт. Такий підхід дозволяє змінювати умови польоту, забезпечуючи режими, максимально наближені до реальних, вивчати поведінку безпілотної літального апарату на спеціальному моніторі, а також вивчати та документувати реакцію системи управління в процесі польоту за рахунок застосування спеціальних програмних засобів.

2.2 Системи управління рухом

Інтелектуальні транспортні системи є основою сучасної концепції управління транспортом. Вони слугують засобом подолання інформаційних бар'єрів і проблеми «великих даних». Функціонування ІТС вимагає застосування різних видів забезпечення [60]: інтелектуальне, математичне, лінгвістичне, інформаційне, когнітивне, технологічне. Управління з впровадженням ІТС полягає в реалізації функцій, що підтримують певний режим діяльності складної організаційно-технічної системи. Інтелектуальні транспортні системи відносяться до класу адаптивних систем, які зберігають працездатність при непередбачених змінах станів керованого об'єкта або навколишнього середовища шляхом зміни алгоритму функціонування, програми поведінки або пошуку оптимальних, в деяких випадках просто

ефективних, рішень і станів. Інтелектуальні транспортні системи, як системи інтелектуальні, відносяться до гібридних інтелектуальних систем, в яких для вирішення завдання використовується більше одного методу імітації інтелектуальної діяльності людини. Інтелектуальні транспортні системи по архітектурі є розподіленими системами. ІТС керують безліччю об'єктів та окремими об'єктами на основі організації та застосування єдиного інформаційного простору в різних масштабах.

2.2.1 Моніторингові системи

У якості основної технології для моніторингу транспорту в цей момент застосовуються супутникове позиціонування [61].

У даний час розроблено, впроваджено та знаходиться в експлуатації досить велика кількість різновидів супутникових систем моніторингу та управління транспортом.

При цьому, на перший погляд, всі вони використовують один принцип і мають практично однакові функції. Разом з тим є цілий ряд істотних відмінностей, як в конструктивному виконанні основних компонентів, так і в програмному забезпеченні та схемах практичної реалізації.

У загальному вигляді система моніторингу транспорту являє собою програмно-апаратний комплекс [62], що складається з п'яти основних частин – ідентифікаційної, контрольно-діагностичної, навігаційної, обчислювально-аналітичної та комунікаційної.

Ідентифікаційна частина – це пристрої та функціональні модулі, що відповідають за ідентифікацію ТЗ, включаючи основні вузли, агрегати та оператора.

Контрольно-діагностична частина включає пристрої та функціональні модулі бортової системи контролю, діагностики та реєстрації параметрів і подій в координатах часу.

Навігаційна частина – це все, що відповідає за визначення часу,

координат місця розташування ТС, швидкості, пройденого шляху та інших параметрів руху [63]. Невід'ємна складова навігаційної частини – супутниковий приймач GPS із вбудованою або зовнішньою антеною.

Обчислювально-аналітична та комунікаційна частини системи включають бортові пристрої та функціональні модулі обміну цифровою інформацією, аналітики, дротової та бездротової передачі даних.

Зазначені частини дозволяють автоматично збирати, аналізувати та передавати бортовим і зовнішнім пристроям значення експлуатаційних параметрів ТЗ: витрата палива, відомості про роботу двигуна та інших вузлів і агрегатів ТЗ, їх технічний стан. Для збору даних про експлуатаційні параметри зазвичай до терміналу GPS підключаються електричні ланцюги живлення бортової мережі, датчики штатного електроустаткування ТЗ, виконавчі механізми та різні додаткові пристрої.

Існує кілька десятків варіантів схем реалізації та роботи СМТ [64], які можна класифікувати за основними ознаками:

- використовуваним глобальним супутниковим навігаційним системам для отримання навігаційної інформації (GPS, ГЛОНАСС або комбінований варіант GPS / ГЛОНАСС);

- використовуваним на ТЗ терміналам GPS, наприклад, з вбудованими функціональними модулями аналітики, формування та передачі на сервер телематичних послуг тільки коректних поточних параметрів, даних лічильників, зареєстрованих подій і додатково сформованих бортових звітів, і без додатково вбудованих функціональних модулів (з передачею на сервер просто поточних параметрів або так званих «сирих даних» без аналізу та обробки);

- використовуваним типам телематичних серверів (комутаційно-аналітичний), у якому, крім баз даних (БД), велика кількість користувачів-клієнтів і стандартне серверне ПЗ (СПЗ), додаткове потужне аналітичне ПЗ (АПЗ) для різних груп клієнтів; типовий комутаційний сервер колективного

користування з передачею клієнтам через Інтернет необроблених «сирих» даних, отриманих від терміналів; корпоративний сервер або ПК підприємства зі спеціалізованим для конкретних груп користувачів клієнтським ПЗ з функціями аналітики та використання картографічної інформації;

- використовуваним способом передачі телематичної інформації з терміналу GPS споживачеві (бездротовий спосіб віддаленого доступу з використанням технологій мережі GSM-операторів та Інтернет в режимі On-line, бездротовий малого радіусу дії (з використанням Wi-Fi, Bluetooth) і контактний (зі зчитуванням даних з терміналу (об'єкта) адміністратором або клієнтом в режимі Off-line шляхом контактного підключення спеціального переносного контактного пристрою незалежної пам'яті або ПК і подальшим перенесенням даних для обробки та аналізу на сервер або стаціонарний комп'ютер диспетчера або оператора з передвстановленим спеціалізованим клієнтським ПЗ).

Основні завдання, які вирішуються сучасними системами моніторингу транспорту і реалізовані на практиці: розташування і маршрут руху, облік часу роботи машини, витрати палива і режимів роботи двигуна, додаткового обладнання, стилю та якості .

Супутниковий моніторинг транспорту надійно забезпечує оперативний контроль місцезнаходження та експлуатаційних параметрів техніки. Місцезнаходження машин і їх поточні параметри роботи в режимі реального часу відображаються на карті місцевості. Координати машини визначаються з точністю від 5 до 20 м [65]. Цього достатньо для вичерпного аналізу роботи машин.

Контроль маршруту руху і витрати палива кожної транспортної одиниці в процесі роботи дозволяє кардинально знижувати витрати на утримання машин.

Рентабельність роботи підприємства може підвищитися на 30-40%. Економічний ефект досягається за рахунок виключення розкрань і оптимізації маршрутів руху ТЗ.

Найбільш ефективним і практично єдиним способом коректного контролю місця розташування ТС і маршруту його руху є застосування систем моніторингу транспорту з використанням технологій GPS [66], які дозволяють, одночасно з координатами, реєструвати час і основні параметри роботи та руху ТЗ з подальшим виведенням результатів за обраний період на екран монітор або на друк для проведення аналізу.

Неефективне використання техніки також пов'язано з нераціональним плануванням маршрутів, низьким завантаженням, необґрунтованими простоями машин, з працюючим двигуном.

Час роботи та відпочинку водіїв машин строго регламентується керівниками підприємств відповідно до законодавства про працю.

Функція обліку часу роботи особливо корисна, коли списання палива здійснюється за машино-години, і важливим є врахування фактично відпрацьованого часу.

Контроль часу роботи техніки поряд з контролем місця розташування та маршруту руху дозволяє керівникам виключити порушення графіка її роботи, а також нецільове її використання або простої. Таким чином, праця водіїв оплачується в суворій відповідності з фактично відпрацьованим часом та виконаною корисною працею.

Економічний ефект при цьому досягається за рахунок зменшення часу простоїв і нецільового використання техніки, підвищення продуктивності праці та оплати персоналу за фактично відпрацьований час.

Облік часу і режимів роботи АТС дозволяє своєчасно виявляти реальне напруження двигуна, порушення режимів його експлуатації, і проводити необхідне сервісне обслуговування. Тим самим, забезпечується збільшення терміну служби техніки і зниження матеріальних витрат на її обслуговування і ремонт.

Стиль керування транспортними засобами в основному залежить від вродженого темпераменту оператора, його професіоналізму та зовнішніх

чинників (часу доби, погодних умов і інше).

Стиль і якість управління в значній мірі позначаються як на виробленні ресурсу вузлів і агрегатів так і на витраті палива.

2.2.2 Системи позиціонування

Останнім часом все ширше використовуються, на транспорті і в комунікаціях, географічні інформаційні системи [67]. Це обумовлено тим, що об'єкти інфраструктури, як правило, розкидані по великій території і/або самі мають значну протяжність. І для їх повноцінного моделювання в даних потрібні також і геометричні характеристики. Крім того, геоінформаційні системи є дуже корисними для реалізації послуг, вироблених інфраструктурою: пошук найкоротшого шляху, транспортна логістика, планування маршрутів пасажирського транспорту.

Географічні інформаційні системи дозволяють також врахувати чинники навколишнього середовища. Адже об'єкти і транспортної, і комунікаційної інфраструктури існують в оточенні інших об'єктів і явищ території, на якій вони розташовані; їх тривале життя не може обійтися без взаємодії з факторами навколишнього середовища, як природними, так і антропогенними. Часто ці фактори бувають несприятливі [68]: руйнівні зсуви, повені та урагани, менш шкідлива, але усюдисуща рослинність; діяльність інших осіб – від змін прав власності та будівництва, що створюють передумови об'єктів до незаконних дій, до вандалізму і крадіжок. Облік, аналіз і прогнозування ризиків від факторів навколишнього середовища практично неможливий простим способом, тут важливий просторовий контекст: близькість впливаючих об'єктів, проходження через небезпечні зони, доступність для аварійних бригад.

Тісна інтеграція технологій реляційних баз даних і геоінформаційних систем дозволила зв'язати в одній системі функції і обліку, і просторово-часового аналізу. Завдяки цьому стало можливим не тільки враховувати зовнішні чинники, а й взагалі всебічно моделювати функціонування

інфраструктури, аж до управління її об'єктами в режимі реального часу. Додавання можливостей мережевої публікації даних, функцій і цілих додатків вивело цю інтегровану технологію на якісно новий рівень, необхідний для створення корпоративних систем.

Транспортно-комунікаційна інфраструктура [69] характеризується рядом особливостей, які необхідно враховувати при моделюванні. Перш за все, це з'єднання фізичного і логічного (мережевого) уявлень. Кожен компонент є одночасно і об'єктом на місцевості зі своїми фізичними характеристиками, і функціональною одиницею мережі. Поєднання цих властивостей реалізується у вигляді так званої геометричної мережі, кожен об'єкт якої є одночасно і просторовим об'єктом на карті, і функціональним елементом графа. Завдяки цьому в одній базі геоданих поєднується картографічне і схематичне уявлення, між якими можна переходити без будь-яких перетворень даних.

Так само необхідно враховувати лінійні координати. Дуже зручним способом ідентифікації будь-якого місця на лінійному об'єкті є вказівка його назви або номера та зміщення від його початку. Оскільки це такий же фундаментальний спосіб вказівки місць розташування, як і географічні координати, його підтримка є необхідною для інтелектуальних систем позиціонування, тому реалізація підтримки одночасно і географічних координат (наприклад, одержувані з приймачів GPS), і лінійних (у вигляді пікетажа і кілометражу) обов'язкова. Причому і ті, й інші можуть представлятися в різних системах координат в номінальному і фактичному кілометраж. Така різноманітність необхідна, щоб кожен фахівець міг працювати з тими координатами, які йому зручні або які історично використовуються на підприємстві для різних завдань.

Підтримка множинних систем лінійних координат пов'язана з так званою динамічною сегментацією [70], що дозволяє на основі базового опису мережі будувати безліч накладених описів. Це дуже ціно для будь-якого виду послуг, реалізованих мережею. Для транспортної інфраструктури це пасажирські і

вантажні перевезення, поштовий зв'язок, навігація – все, що реалізується на одній і тій же фізичній транспортній мережі. Для комунікаційної інфраструктури – голосовий зв'язок, телерадіомовлення, передача даних, маршрутизація, контроль топології. Для моделювання мережі і управління нею динамічна сегментація дає можливість фіксації безлічі шарів подій, як в сенсі того, що відбувається в реальному світі, так і в сенсі точок зміни властивостей лінійних об'єктів мережі або їх оточення.

Необхідна підтримка множинних версій даних. Це дозволяє не тільки вести історію станів мережі, але і створювати сценарії різних варіантів розвитку з метою вибору найкращого з них. Завдяки цьому проектувальник може призвести від поточної версії бази геоданих дві дочірні [71] і в кожній з них зробити якісь зміни для аналізу і порівняння результатів. Наприклад, можна «побудувати» новий міст в одній версії, а в іншій – «модернізувати» наявні шляхи.

Таким чином, система позиціонування дозволяє провести глибоку автоматизацію бізнес-процесів транспортних і комунікаційних компаній і організацій. Засоби моделювання даних дозволяють детально описати об'єкти інфраструктури, суб'єкти діяльності і існуючі між ними взаємодії. А кошти для аналізу – оптимізувати діяльність підприємства і підвищити його ефективність.

2.2.3 Системи безпеки

Інтелектуальні системи транспортної безпеки (ІСТБ) – це системи, що використовують нові інформаційні технології і технічні засоби, які забезпечують необхідний і достатній рівень безпеки транспортних систем, транспортних засобів і транспортної інфраструктури з метою забезпечення необхідного комфорту перевезення пасажирів і якості переміщення вантажів [72].

ІСТБ повинна бути підсистемою ІТС або на початковому етапі бути автономною системою, а потім у міру вдосконалення ІТС увійти до її складу.

Безпека транспортної галузі нерозривно пов'язана з безпекою пасажирів, тому інтелектуалізація повинна носити комплексний характер і в числі іншого повинна вирішувати завдання інформування учасників руху про стан транспортної мережі, а відповідні служби – про виникнення аварій і катастроф, порушень вимог безпеки. Оперативне надходження інформація допоможе швидко усувати загрози і проблеми, а учасники руху, користуючись нею, зможуть вибирати оптимальні маршрути.

Одним з найважливіших завдань є впровадження автоматизованих систем управління. На основі існуючого світового досвіду можна виділити дві основні схеми створення АСУ. Відповідно до першої існує єдиний центр, який акумулює всю інформацію і вже з центру в автоматичному режимі надходять сигнали по адаптивному регулюванню. Друга полягає в незалежній роботі інтелектуальних елементів по автоматично обраним алгоритмам з урахуванням дорожньої ситуації та інформації від датчиків з сусідніх елементів [73].

Також важливим елементом транспортної безпеки повинні стати ТПВ (транспортно-пересадочні вузли). Завдання ТПВ – забезпечити безпеку та оптимізувати потоки пасажирів шляхом перерозподілу між різними видами транспорту. Це позитивно позначається на загальній безпеці пересування населення. ТПВ повинні поєднувати в собі такі елементи: парковку, автовокзал, залізничний вокзал (станцію), станцію метро, торговий центр і локальну інформаційно-керуючу систему, як правило, пов'язану з центральною ІТС (і / або ІСТБ) міста або регіону.

В економічно розвинених країнах інтелектуальні транспортні системи давно існують і ефективно працюють [74]. Наприклад, в столиці Японії інформацію по всьому міському транспорті акумулюють 17 тис. інфрачервоних датчиків, які передають всю інформацію в Центр управління транспортом міста, підвідомчий токійській поліції. У приміщенні центру на стіні встановлено величезний інформаційний дисплей висотою 5 метрів і шириною

25 метрів. У режимі реального часу на цьому гігантському електронному табло відображається вся транспортна ситуація в місті – інформація надходить в центр щохвилини [75].

Також в Центрі управління токійською транспортною системою встановлені монітори, на яких відображається інформація, яка надходить з відеокамер, розміщених по всьому периметру токійської транспортної системи. У японській столиці немає ділянки доріг, яку б не покривала сучасна система відеоспостереження. При цьому в приміщенні центру за всією ситуацією в місті спостерігають всього чотири поліцейських.

Метою роботи такої системи є:

1. Збір, обробка, зберігання та візуалізація вихідних транспортних, містобудівних і соціально-економічних даних.

2. Моделювання транспортної системи в існуючій ситуації і на прогностичні періоди з метою розрахунку обсягів пасажиропотоків, інтенсивності та умов руху всіх видів транспорту в транспортній мережі, розрахунку сценаріїв «що буде, якщо ...», опрацювання варіантів оптимізації робота-транспортера, оцінки роботи транспортної мережі та проектів з розвитку транспортної інфраструктури.

3. Підвищення оперативності обробки інформації та прийняття рішень в області забезпечення безпеки в місті.

Як видно з прикладу ІСТБ в Токіо використання адаптивних технологій дозволить істотно знизити кількість загиблих і постраждалих від пригод на транспорті, техногенних транспортних аварій і катастроф, що, безумовно, зменшить втрати економіки, підвищить ефективність транспортного комплексу.

2.2.4 Інформаційні системи

Бурхливий розвиток нової техніки і технологій, особливо в сфері інформаційних систем і технологій, робототехніки, сучасних засобів комунікацій, передачі та обробки інформації [76] дозволяє здійснювати їх

стрімке впровадження в транспорт.

Цифрова економіка та логістика, цифровізації транспортного комплексу, до недавнього часу сприймалися як щось далеке від реальності, сьогодні вже є частиною сучасних бізнес-процесів і на практиці доводять свою ефективність.

Уже сьогодні існує чимало різнофункціональних систем. Перш за все це:

- центри управління рухом;
- інформаційні системи оповіщення учасників дорожнього руху;
- системи отримання і обробки інформації;
- телеметричні пристрої та системи;
- інформаційні системи про транспортні засоби;
- системи управління мультимодальних перевезень;
- системи визначення геопозиції;
- системи відеоспостереження та контролю;
- системи відеоспостереження за дорожніми роботами.

Транспортний засіб забезпечено, як вбудованими інтелектуальними системами управління та системами, що забезпечують безпеку автоматизованого управління і охорони об'єкта, так і автономними пристроями зв'язку, прийому та обробки інформації. Оператору і пасажиром, під час руху надаються мультимедійні послуги, виводячи пересування абсолютно на новий рівень, підвищуючи комфорт, але, з іншого боку, відволікаючи та зменшуючи безпеку [77]. У великих містах і населених пунктах транспорт функціонує в умовах підвищеного електромагнітного поля і високого рівня перешкод різної фізичної природи, також виникають проблеми, викликані електромагнітною сумісністю різних працюючих електронних пристроїв [78]. При використанні автоматизованих транспортних засобів та безпілотного транспорту це стає однією з головних проблем. На транспортних шляхах потрібне створення і підтримання екологічного інформаційного середовища (екосередовища), що забезпечує безпечне кіберфізичну взаємодію транспорту та об'єктів транспортної інфраструктури.

Процес впровадження ІТС в більшості випадках йде хаотично, безсистемно. Відсутність єдиних стандартів привела до тому, що ІТС вже неможливо інтегрувати в одну систему, і все доводиться перебудовувати. Тому необхідні стандарти, що можливо лише у випадку створення єдиної цифрової платформи транспортного комплексу (ЄЦПТК).

ЄЦПТК призначена для:

- формування нової якості цифрових сервісів управління транспортно-логістичними потоками на міжнародних транспортних коридорах;
- інтеграції існуючих інформаційних ресурсів транспортної галузі та переходу галузі на безпаперовий цифровий супровід;
- комплексного моніторингу об'єктів транспортної інфраструктури пасажирських і вантажних перевезень;
- створення та підтримки цифрових стандартів на транспорті, що підтримують нормативно-правову базу;
- координації та синхронізації взаємодії з вантажовідправниками, Укрзалізниця, морськими портами, аеропортами, власниками терміналів і іншими господарюючими суб'єктами транспортного комплексу.

Висновки до розділу

Розробки та розгортання ІТС – це потенційно ефективний, конкурентоспроможний, інноваційний бізнес і стимул розвитку нового високотехнологічного сектора промисловості.

Відмінною особливістю сучасних ІТС є зміна статусу транспортної одиниці від незалежного, самостійного та в значній мірі непередбачуваного суб'єкта руху до «активного», передбачуваного суб'єкта транспортно-інформаційного простору. У цьому напрямку одним із ключових завдань є розвиток інфраструктури. Розвиток ІТС методологічно базується на системному підході, формуючи ІТС саме як систему, а не як окремі модулі (сервіси). Підходи до створення ІТС ґрунтуються на принципах модернізації та

реінжинірингу діючих транспортних систем. Світова спільнота протягом тривалого часу створює та впроваджує інтелектуальні транспортні системи та їх елементи.

Список використаних джерел

1. Zear Aditi, Pradeep Kumar Singh and Yashwant Singh Intelligent transport system: a progressive review. *Indian Journal of Science and Technology*. 2016. Vol .9 (32). P 1–8.

2. Зінько Р.В., Маковейчук О.М. Принципи формування інтелектуальної транспортної системи. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2007. Т. 17. №. 6. С. 280–285.

3. Сорока С.І., Плотніков Є.О., Плаксина М.А., Солдатенко Б.Ф. Особливості оптимізації маршрутів транспортних потоків в умовах інтелектуальної транспортної системи. *Логістичне управління та безпека руху на транспорті* : наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти та молодих вчених / відп. ред. Н.Б. Чернецька-Білецька. Сєверодонецьк : СНУ ім. В. Даля, 2020. С. 152–155.

4. Hendriks F., Pelders R., Tideman M. Future testing of active safety systems. *SAE International Journal of Passenger Cars-Electronic and Electrical Systems*. 2010. Т. 3. №. 2010-01-2334. – С. 170–175.

5. Piccinini G. F. B. Driver's behavioural adaptation to the use of Advanced Cruise Control (ACC) and Blind Spot Information System (BLIS): Universidade do Porto (Portugal), 2014. URL: <https://www.proquest.com/openview/0f752d370fec900e06c53e49dd2a3101/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366>

6. Van Zanten A. T. et al. Evolution of electronic control systems for improving the vehicle dynamic behavior. *Proceedings of the 6th International Symposium on Advanced Vehicle Control*. 2002. Т. 2. №. 2. С. 9.

7. Лёвин Б.А., Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Транспортные кибер-физические системы. *Наука и технологии железных дорог*. 2017. Т. 1. №. 3.

C. 3–15.

8. Fukushima M., Yasuhara S. Development of a cellular-based pedestrian traffic safety support system. *16th ITS World Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services ITS America ERTICO ITS Japan*. 2009. P.29–37.

9. Rehborn H., Palmer J. Using ASDA and FOTO to generate RDS/TMC traffic messages. *Traffic Engineering & Control*. 2008. URL: <https://trid.trb.org/view/869281>

10. Тесля Н.Н. Принципы построения интеллектуальных транспортных систем для обеспечения инфомобильности. *Информатика и автоматизация*. 2014. № 37. С. 21–36.

11. Berggren Jennie and Frida Hagelberg. Volvo within reach-Investigating the user experience of Volvo On Call and exploring opportunities for future development. *MS thesis*. 2016. 145 p.

12. Kilicier Ç. A. Ğ. L. A. R. and Ersen Yilmaz. A Driver Safety Support System Which Detects Traffic Lights. *JOURNAL OF POLYTECHNIC-POLITEKNIK DERGISI*. 2018. cilt.21, sa.2, P.419–426

13. Chiatula Chukwuemeka, et al. The Smart Way. *2019 IEEE PES/IAS PowerAfrica. IEEE*. 2019. P. 152–165.

14. Фастовець Є.Р. Система розпізнавання дорожніх знаків на основі нейронної мережі : дис. КПП ім. Ігоря Сікорського, 2019. С.69.

15. Кобзев А.В. Система ночного видення. *Інновації технічних рішень в машиностроєнні і транспорті: збірник статей ІІІ Всеросійської науково-технічної конференції для молодих учених і студентів з міжнародним участям / МНЦПГАУ. Пенза:РІОПГАУ,2017. С. 62–66.*

16. Prajana A.M. Visual analysis of product placement in the nkcthi web series on toyota indonesia youtube channel. *In Proceeding International Conference on Multimedia, Architecture, and Design,(2020, October. Vol. 1. P. 309–314.*

17. Moon J., Bae I. & Kim S. A pre-crash safety system for an occupant sitting on a backward facing seat for fully automated vehicles in frontal crashes. *In*

2017 *IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES)*, 2017, June. P. 168–171.

18. Піжук О.І. Штучний інтелект як один із ключових драйверів цифрової трансформації економіки. *Економіка, управління та адміністрування*. 2019. № 3 (89). С. 41–46.

19. Kaewunruen S. & Lian Q. Digital twin aided sustainability-based lifecycle management for railway turnout systems. *Journal of Cleaner Production*. 2019. № 228. P. 1537–1551.

20. Епрынцева Н.А. Искусственный интеллект для железнодорожного транспорта. *Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах*. 2021. № 1. С. 100–104.

21. Устюжанина Е.В., Сигарев А.В., Шеин Р.А. Цифровая экономика как новая парадигма экономического развития. *National Interests: Priorities and Security*. 2017. vol. 13, iss. 10. P. 1788–1804.

22. Колінько К.Г. Інноваційний розвиток залізничних пасажирських перевезень : дипломна робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра : спец. 073 – менеджмент / наук. керівник Т.Ю. Чаркіна ; Дніпров. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В.А. Лазаряна. Дніпро, 2020. 95 с.

23. Tang H., Li D., Wan J., Imran M. & Shoaib M. A reconfigurable method for intelligent manufacturing based on industrial cloud and edge intelligence. *IEEE Internet of Things Journal*. 2019. № 7(5). P. 4248–4259.

24. Zhang H. & Sun Q. An integrated MCDM approach to train derailment risk response strategy selection. *Symmetry*. 2020. № 12(1). P. 47.

25. Lum M.J., et al., TeleRobotic fundamentals of laparoscopic surgery (FLS): effects of time delay – pilot study. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 2008. P. 5597-600.

26. Попов П. А. Беспилотные поезда: основные принципы работы. *Железнодорожный транспорт*. 2019. № 8. С. 36–38.

27. Singhal V., Jain S.S. & Parida M. Train sound level detection system at

unmanned railway level crossings. *European Transport\Trasporti Europei*. 2018. № 68(3). P. 1–18.

28. Ломотько Д.В., Примаченко Г.О. Методологічний підхід до формалізації процесу функціонування динамічних мультимодальних транспортних систем. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2021. Т. 26. №. 1. С. 30–37.

29. Herrojo C., Mata-Contreras J., Nunez A., Paredes F., Ramon E., & Martin F. Near-field chipless-RFID system with high data capacity for security and authentication applications. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. 2017. № 65(12), P. 5298–5308.

30. Min Y., Xiao B., Dang J., Yue B., & Cheng T. Real time detection system for rail surface defects based on machine vision. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*. 2018 (1). P. 1–11.

31. D'Ovidio G., Ometto A. & Valentini O. A novel predictive power flow control strategy for hydrogen city rail train. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2020. № 45(7), P. 4922–4931.

32. Жуковицький І.В., Скалозуб В.В., Устенко А.Б. Інтелектуальні засоби управління парками технічних систем залізничного транспорту : монографія. Дніпро : Стандарт-Сервіс, 2018. 190 с.

33. Ковалев А.Р. Проектирование системы охранного видеонаблюдения на горно-рудном предприятии АО «Лебединский ГОК» компании ООО «Металлоинвест». Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 2019. С.55.

34. Li G. & Baker S.P. Crash risk in general aviation. *Jama*. 2007. № 297(14). P. 1596–1598.

35. EHEST HE 11 Training Leaflet – Teaching and Testing in Flight Simulation Training Devices (FSTD) (Отработка и проверка подготовки по аварийным и нештатным процедурам на вертолетах). URL: <https://easa.europa.eu/HE11>

36. Колисниченко А.В., Федунів Б.Е. Бортовая интеллектуальная информационная система «Ситуационная осведомленность экипажа вертолета». *Мехатроника, автоматизация, управление*. 2016. Т. 17. №. 10. С. 703–708.

37. Mikhaïlenko V.S., Kharchenko R.Yu. Analysis of traditional and neuro-fuzzy adaptive system of controlling the primary steam temperature in the direct flow steam generators in TPS. *Automatic Control and Computer Sciences*. Riga, 2014. Vol. 48. No. 6. P. 334–344.

38. Миргород В.Ф., Гвоздева І.М., Ковтун А.І. Удосконалення характеристик суднових систем автоматичного управління за допомогою застосування ланок із дробовим показником інтегрального перетворення. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. Одеса: НУ «ОМА», 2020. С. 205–208.

39. Ginn H.L., Santi E., Langland B., Ferraro A., Arrua S. & Abdollahi H. Incorporation of control systems in early stage conceptual ship designs. *In 2017 IEEE Electric Ship Technologies Symposium (ESTS)*, 2017, August. P. 1–8.

40. Nagrath I.J. Control systems engineering. *New Age International*. 2006.

41. Sørensen A.J. Structural issues in the design and operation of marine control systems. *Annual Reviews in Control*. 2005. № 29(1). P. 125–149.

42. Liu S., Xing B., Li B. & Gu M. Ship information system: overview and research trends. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*. 2014. № 6(3). P. 670–684.

43. Казімірова В.В., Можасв М.О., Кузьменко В.Є. Особистості моделювання передачі інформації у комп'ютерній мережі системи автоматичної ідентифікації суден. *Системи обробки інформації*. 2014. №. 7. С. 83–88.

44. Zong Y., Wang J.H., & Liu W.T. Design of the Automatic Management of Ship's Engine Room Based on the Ethernet [J]. *Journal of East China Shipbuilding*

Institute (Natural Science Edition). 2004. № 1. P. 81–90.

45. Bakalar G. & Baggini M.B. Automated remote method and system for monitoring performance of ballast water treatment system operation on ships. In 2016 International Symposium ELMAR, 2016, September. P. 229–232.

46. Гриняк В.М. и др. Цифровое представление и комплексная оценка навигационной безопасности движения на морских акваториях. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2020. Т. 8. №. 1. С. 40–41.

47. Надеев А.И., Нгок Б.Х., Свирепов Ф.В. Интеллектуальное управление судовым двигателем внутреннего сгорания с учетом диагностики состояния оборудования. *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология*. 2011. №. 1. С. 45–50.

48. Красюк А.Б., Чистов, В.Б. Методологические основы дефектации стальных корпусов судов. *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала СО Макарова*. 2013. № 3 (19), С. 87–93.

49. Zhou Y., Tang Y. & Zhao X. A novel uncertainty management approach for air combat situation assessment based on improved belief entropy. *Entropy*. 2019. № 21(5). P. 495.

50. Болкуневич В.О. Підвищення стійкості системи керування робототехнічною системою : дис. КПІ Ім. Ігоря Сікорського, 2019. С.79.

51. Кожевников В.В. и др. Нейросетевые технологии построения интеллектуальных систем управления роботами. *Ученые записки УлГУ. Серия: Математика и информационные технологии*. 2019. №. 2. С. 36–53.

52. Макаров И.М., Лохин В.М., Манько С.В., Романов М.П. Создание интеллектуальных систем автоматизации и управления на основе современных информационных технологий. *Мехатроника, автоматизация и управление*. 2007. No 4. С. 13–20.

53. Santoso F., Garratt M.A. & Anavatti S.G. State-of-the-art intelligent flight control systems in unmanned aerial vehicles. *IEEE Transactions on Automation*

Science and Engineering. 2017. № 15(2). P. 613–627.

54. Buele J., Quilumba D., Ilvis D.I., Saá F., & Salazar F.W. Carwash Station Prototype with Automatic Payment Using Intelligent Control Systems. *In International Conference on Applied Technologies*. Springer, Cham, 2020, December. P. 236–249.

55. Самойленко О.В., Богославець С.О., Самойленко Н.М. Обґрунтування шляхів інтеграції безпілотних авіаційних комплексів в автоматизовані системи управління військами за стандартами НАТО. *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації*. 2019. Вип. 15 (22). С. 93–98.

56. Методологічні основи проектування та функціонування інтелектуальних транспортних і виробничих систем : монографія / В.В. Аулін, А.В. Гриньків, А.О. Головатий та ін. ; під заг. ред. В.В. Ауліна. Кропивницький: Лисенко В. Ф., 2020, 428с.

57. Злобина И.С.; Скрипина Е.В. Применение информационных технологий в управлении транспортными потоками: системы мониторинга транспортных средств. *Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса*. 2019. С. 351–355.

58. Barot V., Kapadia V. & Pandya S. QoS enabled IoT based low cost air quality monitoring system with power consumption optimization. *Cybernetics and Information Technologies*. 2020. № 20(2). P. 122–140.

59. Другов К.М., Подколзина Л.А. Системы навигации наземных подвижных объектов. *Проблемы техногенной безопасности и устойчивого развития: сборник научных статей молодых ученых, аспирантов и студентов ФГБОУ ВПО ТГТУ*. 2012. №. 3-С. С. 203–207.

60. Olszewski R., Pałka P. & Turek A. Solving “Smart City” Transport Problems by Designing Carpooling Gamification Schemes with Multi-Agent Systems: The Case of the So-Called “Mordor of Warsaw”. *Sensors*. 2018. № 18(1). P. 141.

61. Михайлов С. Влияние многолучевости распространения радиоволн от навигационного космического аппарата на точность определения координат GPS-приемник. *Беспроводные технологии*. 2006. №. 3. С. 60–71.
62. Ostrowska K., Gaška A., Kupiec R., Sładek J. & Gromczak K. Verification of articulated arm coordinate measuring machines accuracy using lasertracer system as standard of length. *Mapan*. 2016. № 31(4). P. 241–256.
63. Кашканов В.А., Кашканов А.А., Кужель В.П. Інформаційні системи і технології на автомобільному транспорті: навчальний посібник. ВНТУ, 2020. 104 с.
64. Robinson V.B. Geographic Information Systems and Development Decision-Making. *Cutting Edge Technologies And Microcomputer Applications For Developing Countries*. 2019. P. 11–18.
65. Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J. & Rhind D.W. Geographic information systems and science. *John Wiley & Sons*. 2005. P. 497.
66. Сапрыкин М.Ю. Общественно-парсипативные географические информационные системы в контексте функционирования гражданского общества. *Наука и образование: хозяйство и экономика; предпринимательство; право и управление*. 2015. №. 10. С. 138–143.
67. Барабанова М.И., Кияев В.И. Информационные технологии: открытые системы, сети, безопас-ность в системах и сетях : учебное пособие.СПб. : Изд-во СПбГУЭФ, 2010. 267 с.
68. Малыгин И.Г., Сильников М.В. Интеллектуальные системы транспортной безопасности. *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2014. № 1. С. 1–13.
69. Levinson J., Askeland J., Becker J., Dolson J., Held D., Kammel S. & Thrun S. Towards fully autonomous driving: Systems and algorithms. *In 2011 IEEE intelligent vehicles symposium (IV)*. 2011, June. P. 163–168.
70. Рудзінський В.В. и др. Особливості експлуатації транспорту загального призначення в технологіях інтелектуальних транспортних систем.

Вісник ЖДТУ. Серія «Технічні науки». 2016. № 2 (77). С. 238–247.

71. Капустина Н.В., Абрамян А.Э. Роль интеллектуальных систем в развитии транспортной инфраструктуры современных мегаполисов: перспективы и риски. *Цифровая трансформация отраслей: стартовые условия и приоритеты*: докл. к XXII Апр. междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 13–30 апр. 2021. С. 116–121.

72. Miranda J., Ponce P., Molina A. & Wright P. Sensing, smart and sustainable technologies for Agri-Food 4.0. *Computers in Industry*. 2019. № 108. P. 21–36.

73. Малий А.С. Удосконалення організації та якості міських перевезень пасажирів громадським транспортом : дис. Дніпровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, Дніпро. 2021. 432 с.

74. Visser H.J. & Vullers R.J. RF energy harvesting and transport for wireless sensor network applications: Principles and requirements. *Proceedings of the IEEE*. 2013. № 101(6). P. 1410–1423.

РОЗДІЛ 3

НЕЙРОМЕРЕЖЕВІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БОРТОВИХ СИСТЕМ АВІАЦІЙНОГО ТРАНСПОРТУ

3.1 Загальні відомості. Основні проблеми моніторингу технічного стану авіаційних двигунів вертольотів у польотних режимах

Авіаційні двигуни вертольотів (авіаційні газотурбінні двигуни з вільною турбіною) і системи управління ними є складними динамічними системами. Коректність і безпеку функціонування таких об'єктів вимагають постійного і безперервного аналізу його параметрів. Класифікація та розпізнавання класів станів авіаційних двигунів вертольотів необхідні для узгодження стратегії оптимального управління за його технічним станом у режимі польоту вертольоту. Ефективність контролю стану авіаційних двигунів вертольотів істотно залежить від імовірності правильного розпізнавання їхнього технічного стану, що безпосередньо впливає на якість систем управління експлуатацією авіаційних двигунів вертольотів, що, в кінцевому підсумку, визначає економічність і безпеку польотів.

Дослідження в області створення автоматизованих систем моніторингу технічного стану авіаційних двигунів показують недостатню обґрунтованість використання систем, що базуються тільки на одному з відомих методів моніторингу, оскільки жоден з методів не є універсальним і абсолютно надійним. Природно, що подібні системи моніторингу, створені на основі одного класифікатора, не зможуть повною мірою задовольнити зростаючі вимоги, що пред'являються до моніторингу двигунів.

Існує кілька напрямків, що визначають підвищення ефективності бортових технологій контролю стану авіаційних двигунів. Основним напрямком слід вважати інтелектуалізацію процесів обробки інформації з

використанням нейромережевих методів, що здатні забезпечити підвищення якості бортових алгоритмів контролю та діагностики технічного стану авіаційного двигуна.

Нейронні мережі від класичних методів відрізняє швидкодія, універсальність, гнучкість у використанні, а також здатність до узагальнення інформації, висока робастність до зовнішніх збурень і здатність до прогнозування. При цьому актуальною проблемою на сьогоднішній день є комплексна діагностика авіаційних двигунів на базі моделей нейронних мереж з прогнозом поточних ситуацій.

Отже, розробка нових та удосконалення існуючих методів контролю технічного стану авіаційного двигуна в умовах його бортової експлуатації є актуальною науково-практичною проблемою.

В експлуатації технічний стан авіаційних двигунів вертольотів контролюється безперервно, завдяки використанню не тільки наземного обладнання, але і бортових систем контролю. У зв'язку з цим практично зникло поняття часу між перевірками. Існує два види контролю, на яких базується система технічної експлуатації для підтримки справного стану вертолітних газотурбінних двигунів [1].

1. Профілактичний контроль складається з перевірок, що дозволяють виявити в будь-якому вузлу, агрегаті або системі відхилення від встановлених норм і оцінити їх життєздатність. Він включає в себе систему підбору і аналізу даних для отримання інформації, на підставі якої можна судити про справність двигуна.

2. Дефектація кожної деталі – такий вид контролю полягає в тому, щоб при візуальному огляді і інструментальному контролі кожної деталі оцінити її стан і можливість подальшої експлуатації (а при необхідності намітити її модифікацію).

Такий вид контролю можливий лише при повному розбиранні двигуна в умовах ремонтного підприємства.

На даний час більш широке використання знаходить профілактичне техобслуговування як більш економічна форма експлуатації.

Для цієї мети удосконалюються методи визначення стану окремих деталей, агрегатів і робочих параметрів двигуна. До них відносяться:

- метод ендоскопії;
- використання магнітних уловлювачів в паливній і масляної системах;
- радіоізотопний метод;
- метод вихрових струмів;
- ультразвукової і магнітної дефектоскопії;
- спектрометричний контроль масла тощо.

Основним видом контролю роботи двигунів є інструментальний контроль за приладами, розташованим на панелях приладів кабіни. Перелік параметрів, контрольованих при роботі двигуна наведено в табл. 3.1 [2].

По показчику оборотів судять про потужність, що розвивається, про нормальний тепловий процес, що перебігає в двигуні, про справність підшипників і проточної частини двигуна [1].

Для зручності контролю частоти обертання турбокомпресорів застосовуються двострілочні тахометри: одна стрілка показує частоту обертання ротора турбокомпресора лівого двигуна, а інша – правого.

Різна режимність роботи двигунів на сталих режимах від крейсерського і вище не повинна перевищувати 2 % різниці обертання турбокомпресорів. Якщо у польоті різниця частот обертання турбокомпресорів перевищить установлений допуск, то це означає, що все навантаження по обертанню несучого гвинта несе двигун, частота обертання турбокомпресора якого більше (за винятком випадку відмови регулятора n_{cm} через руйнування гнучкого валика).

Двигун, що має меншу частоту обертання ротора турбокомпресора, практично не завантажений. Така робота силової установки справляє негативний вплив на роботу навантаженого двигуна і вертолїтного редуктора.

Таблиця 3.1 – Параметри авіаційних двигунів вертольотів (на прикладі авіаційного двигуна ТВ3-117), що реєструються в експлуатації [2]

№ з/п	Найменування параметру	Одиниця виміру	Тип датчика (приладу)	Примітка
1	Частота обертів турбокомпресора	%	Д-2М, ІТЕ-2Т – один на два двигуна	Датчик – на коробці приводів. Вимірювальний прилад – на лівій і правій панелях приладів
		$n_{mk} = 100 \% = 19537 \text{ '}/\text{хв}$		
2	Частота обертів вільної турбіни	%	Д-1М, ІТЕ-1Т	Датчик – на вертолітному редукторі, вимірювальний прилад – на лівій і правій приладових дошках
	несучого гвинта	$n_{cm} = 15000 \text{ '}/\text{хв} = 100 \%$ $n_{ng} = 192 \text{ '}/\text{хв} = 95,4 \%$		
3	Температура газів перед турбіною компресора	$T_T, \text{ }^\circ\text{C}$	14 здвоєних термопар Т-102, апаратура 2ІА-6	Датчики – на корпусі турбіни. вимірювальний прилад – на лівій приладовій дошці
4	Тиск масла на вході в двигун	$P_M, \text{ кгс}/\text{см}^2$	ВД-8 або ІМД-8, ЕМІ-3РІ	Датчик – на корпусі компресора (праворуч), вимірювальний прилад – на центральному пульті, табло – на лівій панелі приладів
5	Температура масла на виході з двигуна	$T_M, \text{ }^\circ\text{C}$	2тр або П-1, ЕМІ-3РІ	Датчик – в трубопроводі відведення масла в радіатор, прилад – на центральному пульті
6	Металева стружка в маслосистемі	табло	СС-78	Датчик – в трубопроводі відведення масла в радіатор, табло – на лівій панелі приладів
7	Стан паливного фільтра	табло	СП-0,4ЕТ	Датчик – на перепускному клапані фільтра, табло – на лівій панелі приладів
8	Вібрація корпусу двигуна	мм/с, табло	МВ-03-1, ІВ-500	Датчик – на фланці корпусу компресора (кріплення двигуна), табло – на лівій панелі приладів
9	Робота електронного регулятора	табло	ЕРД Датчики введення: $n_{mk1}, n_{mk2}, n_{cm1}, n_{cm2}, T_{T1}, T_{T2}, P_{ex}, T_{ex}$	Пульт контролю – на центральному пульті кабіни, датчики введення – на двигунах і вертольоті
10	Режим роботи двигуна	табло	ІР-117М	Один на два двигуна, на лівій панелі приладів

Різна режимність роботи двигунів може виникати через порушення роботи системи синхронізації потужності (скупчення конденсату в трубопроводах підведення повітря до синхронізатора, часткової розгерметизації цих трубопроводів), засмічення паливних фільтрів насосів-регуляторів, часткової відмови двигуна.

Температура газів визначає процес згоряння палива і стан деталей газоповітряного тракту. Нормальна температура газів вказує, що тепловий режим двигуна відповідає розрахунковим значенням.

Підвищення температури є ознакою [1]:

- обриву робочих лопаток;
- помпажу компресора;

- руйнування підшипників роторів;
- обмерзання вхідної частини двигуна.

Ознакою несправності паливних форсунок і самовимикання двигуна є зменшення температури газів.

Особливо небезпечним є закид температури газів вище допустимої при запуску двигуна і при роботі на максимальному режимі, так як це призводить до зміни фізико-хімічної структури деталей камери згоряння і турбін, що згодом може привести до їх руйнування.

Підвищення температури масла сигналізує про недостатній його кількості в системі або про дозвіл деталей, що труться в двигуні. Різке підвищення температури масла може свідчити про прорив газів з газоповітряного тракту у масляній порожнини двигуна.

Падіння тиску масла свідчить про недостатнє його кількості в маслосистемі. засміченні маслофільтра, зовнішніх витоках або витоках до газоповітряного тракту, створення повітряної пробки на вході до маслонасосів або руйнуванні приводних ресори маслоагрегата. Робота двигуна з тиском масла нижче допустимого може призвести до руйнування підшипників роторів.

Робота окремих агрегатів, систем, а отже, і самого двигуна контролюється також по загорянню сигнальних лампочок і світлових табло. Справність двигуна визначається також по звуку, тобто зі зміною тону шуму. Сторонні звуки у вигляді стуку, скреготу, скрипу, свисту не допускаються. У практиці експлуатації двигунів зустрічаються і такі несправності, які можна визначити по вібрації. При частковому обриві лопатки порушується балансування ротора, що викликає сильну вібрацію [1].

В окремих випадках несправність двигуна можна визначити за допомогою органів нюху. По запаху гасу або масла можна визначити розгерметизацію масляної або паливної систем. По запаху диму – виникнення пожежі.

За швидкодії ротора визначається руйнування підшипників опор, витяжка

турбінних лопаток, потрапляння у двигун сторонніх предметів тощо.

Вибіг ротора турбокомпресора визначається під час вимикання двигуна з моменту переведення стоп-крана у положення «СТОП» до частоти обертання ротора турбокомпресора $n_{mk} = 3\%$ (або повної зупинки двигуна).

Отже, моніторинг сучасного авіаційного газотурбінного двигуна вертольоту тягне за собою збільшення числа контрольованих параметрів, аналіз яких особою, що приймає рішення (ОПР), пов'язаний з численними помилками контролю та прийняття рішень.

Сучасний авіаційний двигун вертольоту як складний технічний об'єкт має різні стратегії технічного обслуговування і ремонту. Проведеними дослідженнями було встановлено [3–11], що на теперішній час існують такі стратегії технічного обслуговування:

– з напрацювання, за якого перелік і періодичність виконання операцій визначаються значенням напрацювання авіаційного двигуна з початку експлуатації або після капітального (середнього) ремонту;

– за станом, коли перелік і періодичність виконання операцій визначаються фактичним технічним станом авіаційного двигуна на момент початку технічного обслуговування;

– ремонт з напрацювання, за якого обсяг розбирання двигуна і дефектації його складових частин призначається єдиним для парку однотипних виробів залежно від напрацювання з початку експлуатації або після капітального (середнього) ремонту, а перелік операцій відновлення визначається з урахуванням результатів дефектації складових частин виробу;

– ремонту за технічним станом, за якого перелік операцій, у тому числі розбирання, визначається за результатами діагностування виробів на момент початку ремонту, а також за даними про надійність і міцність і однотипних виробів.

Як основну ознаку, що характеризує стратегії технічного обслуговування і ремонту авіаційних двигунів, доцільно прийняти характер інформації про їх

надійність та технічний стан, яка використовується при призначенні періодичності й обсягу регламентних робіт. Цю інформацію можна розділити: за часом отримання і використання на апіорну і апостеріорну; за джерелами отримання інформації про сукупності двигунів і про окремий двигун, при цьому під досвідом розуміється серійна експлуатація об'єкта. Сполучення цих видів інформації утворюють чотири стратегії технічного обслуговування і ремонту (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Стратегії технічного обслуговування і ремонту авіаційних двигунів

Характер інформації	Апіорна	Апостеріорна
Парк двигунів	З напрацювання	Стан з контролем рівня надійності
Окремий двигун	З напрацювання, встановленого для окремого двигуна	Стан з контролем параметрів

Стратегія технічного обслуговування і ремонту за станом істотно відрізняється від стратегій обслуговування і ремонту з напрацювання (стратегія з напрацювання). Вони полягають не тільки в самому характері технологічних процесів технічного обслуговування і ремонту, а й в розподілі ресурсів, необхідних для розвитку виробничо-технічної бази, що відповідає вимогам тієї чи іншої стратегії.

Стратегія за станом передбачає забезпечення високого рівня експлуатаційно-ремонтної технологічності конструкцій, створення в достатніх обсягах ефективних засобів діагностики та неруйнівного контролю, розвиток виробничо-технічної та експериментальної бази експлуатаційних і ремонтних підприємств цивільної авіації.

Стратегія з напрацювання передбачає розвиток експериментальної бази підприємств промисловості і забезпечення на цій основі обґрунтованих ресурсів до ремонту для кожної сукупності однотипних об'єктів. Від

своєчасного вибору відповідної стратегії вирішальною мірою залежить своєчасність і правильність вибору необхідної технічної політики розвитку інженерно-авіаційної служби галузі на багато років.

Стратегії обслуговування і ремонту пов'язані зі стратегіями експлуатації (використання) двигунів (табл. 3.2). Для кожної зі стратегій експлуатації можна обрати цілком певні стратегії, що відрізняються найбільшою ефективністю технічного обслуговування і ремонту. Однак цілком очевидно, що оптимальною стратегією технічного обслуговування і ремонту авіаційного двигуна є стратегія експлуатації за технічним станом. Аналіз ефективності показує, що експлуатація за станом забезпечує скорочення оборотного фонду двигунів на 15...20 %, числа капітальних ремонтів на 15...20 %; транспортних витрат на 25...30 %. У цілому економічний ефект від переходу на експлуатацію за станом складе 40...50 % від вартості всього парку двигунів (без урахування витрат на впровадження цієї системи, які складуть не більше 5 % від економічного ефекту [5–7, 12–14].

Розрізняють такі стратегії експлуатації: до вироблення ресурсу (терміну служби); до відмови; до передвідмовного стану. Для кожної зі стратегій експлуатації (табл. 3.3) можна обрати тільки ті, що відрізняються найбільшою ефективністю стратегії технічного обслуговування і ремонту.

Таблиця 3.3 – Взаємозв'язок стратегій експлуатації та технічного обслуговування і ремонту

Стратегія технічного обслуговування і ремонту	Стратегія експлуатації		
	До вироблення ресурсу	До передвідмовного стану	До відмови
Технічне обслуговування			
З напрацювання	+	–	–
Стан з контролем параметрів	–	+	–
Стан з контролем рівня надійності	–	–	+
Ремонт			
З напрацювання	+	–	+
За технічним станом	+	+	+

Зростання надійності авіаційних двигунів зі збільшенням сумарного напрацювання пояснюється наявністю стійкого зворотного зв'язку (конструктивний, технологічний, експлуатаційний), який вводиться у зв'язок з кожною відмовою. Постійне зростання надійності авіаційних двигунів при збільшенні обсягу експлуатації має найважливіше значення для забезпечення безпеки польотів при роботі на незмінних режимах.

Необхідні умови для застосування стратегії технічного обслуговування і ремонту за станом наведені у [5–17]. Загальна схема експлуатації двигунів за станом передбачає два основних етапи:

- експлуатація в межах фіксованого (гарантованого) ресурсу, встановленого для даної групи двигунів, призначеної для окремої категорії літальних апаратів;
- експлуатація після відпрацювання фіксованого ресурсу (у межах дозволеної напрацювання).

Збільшення напрацювання двигуна (у межах дозволеного) під час експлуатації за станом (II етап) здійснюється ступенево і ґрунтується на контролі фактичного стану двигунів, вузлів, систем і агрегатів, а також основних даних (тяга, питома витрата палива тощо) кожної одиниці двигуна. Стан елементів двигунів визначається на підставі інформації, отриманої в польотах і при наземному обслуговуванні за допомогою засобів і методів технічного діагностування і даних бортової реєстрації.

Необхідність індивідуального контролю авіаційного двигуна пояснюється значною неоднорідністю низки експлуатаційних показників, від яких залежить надійність авіаційних двигунів: неоднорідність і різноманіття причин відмов, надзвичайна неоднорідність парку двигунів з напрацювання; неоднорідність і різноманітність умов експлуатації.

Процес експлуатації авіаційних двигунів за технічним станом ґрунтується на припущенні, що реальний технічний стан усіх вузлів, агрегатів і систем двигуна, що відмовили, виникає з певною періодичністю і точністю і

оцінюється за контролем їх параметрів, що дозволяє експлуатувати авіаційний двигун до появи ознак небезпечного зниження надійності. Експлуатація за технічним станом ґрунтується на таких припущеннях [18–22]:

- стан двигуна (справний, працездатний, несправний тощо) характеризується безліччю параметрів, що випадково змінюються у часі;
- конструкція двигуна (ремонтпридатність) дозволяє безперервно або періодично контролювати значення параметрів, що визначають його стан;
- надійність кожного серійного двигуна керується індивідуально шляхом комплексної оцінки параметрів, що визначають його технічний стан і становлять випадковий процес;
- перевищення значень параметрів, що характеризують стан двигуна, щодо допустимих значень, визначає неприпустимий в експлуатації стан;
- методи і засоби контролю та діагностування забезпечують виявлення несправностей на ранній стадії їх розвитку;
- витрати на заміну вузла або агрегату, що має несправності на ранній стадії розвитку, значно зменшує витрати ніж при аварійній заміні. Отже, цей вид експлуатації ґрунтується на інформації про технічний стан індивідуального двигуна, одержуваної за допомогою методів і засобів технічного діагностування, враховує індивідуальні особливості кожного конкретного двигуна, дозволяє використовувати практично повністю його потенційні можливості.

Експлуатація авіаційного двигуна в рамках його життєвого циклу може бути наведена наступною часовою віссю (рис. 3.1), на якому позначено: I – приймально-здавальні випробування; II – льотні випробування; III – державні випробування; IV – експлуатація; V – ремонт (регламентні роботи); VI – експлуатація; VII – ремонт; VIII – випробування; IX – експлуатація; X – зняття з експлуатації.

Часовій осі t відповідають величини $\tau_0 \dots \tau_{10}$ – випадкові події; $\Delta t_1 \dots \Delta t_{10}$ – інтервали часу, що описують характерні ділянки експлуатації двигуна; $P_i(\Delta t_i)$, i

$= 1, 2, \dots, 10$ – ймовірності безвідмовної роботи двигуна на виділених ділянках експлуатації; $T_1 \dots T_{10}$ – середній час безвідмовної роботи двигуна на виділених ділянках експлуатації; $C_1 \dots C_{10}$ – витрати на виконання робіт у процесі експлуатації двигуна; $L_1 \dots L_{10}$ – необхідна оперативна пам'ять для виконання операції; Z – ризики.

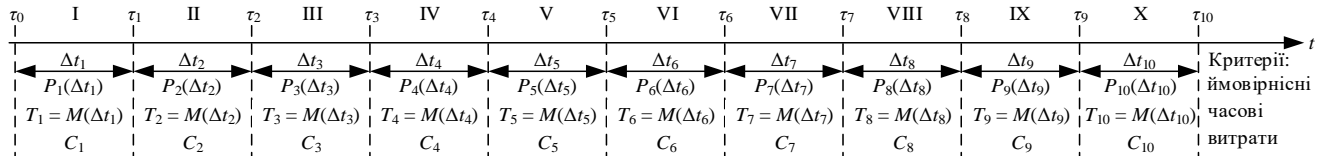


Рисунок 3.1 – Основні критерії процесу експлуатації авіаційного двигуна

Отже, життєвий цикл авіаційного двигуна, пов'язаний з його експлуатацією, характеризується трьома основними критеріями: імовірнісними, часовими та витратами. При цьому у процесі експлуатації авіаційних двигунів прагнуть зменшити час випробувань:

$$t_i = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \Delta t_5 + \Delta t_7 + \Delta t_8 \rightarrow \min;$$

а час експлуатації збільшити: $t_j = \Delta t_4 + \Delta t_6 + \Delta t_9 \rightarrow \max$.

Отже, узагальнений критерій R може бути приведений у вигляді:

$$R = P(t_\Sigma) = P_1(\Delta t_1)P_2(\Delta t_2) \dots P_{10}(\Delta t_{10}) = \prod_{i=1}^n P_i(\Delta t_i) \rightarrow \max; \quad (3.1)$$

при цьому $T_\delta = \sum_i \Delta t_i \rightarrow \min$; $T_\xi = \sum_j \Delta t_j \rightarrow \max$; $C = \sum_{i=1}^n C_i \rightarrow \min$.

Тоді задача оптимізації процесу контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна можна навести як:

$$\begin{cases} R \rightarrow \max; \sum_i L_i \leq L_{\text{зад}}; \\ T_\Sigma \geq (T_\Sigma)_{\text{зад}}; \sum_i Z_i \leq Z_{\text{зад}}^*; \\ C \leq C_{\text{зад}}. \end{cases} \quad (3.2)$$

Як уже зазначалося раніше, однією з основних тенденцією розвитку авіаційних двигунів є зростання контрольованих параметрів. Так, якщо число контрольованих і діагностованих параметрів двигуна четвертого покоління обчислювалася сотнями, то для авіаційних двигунів п'ятого покоління, наприклад фірми Роллс-Ройс, ця кількість сягає кількох тисяч [23, 24]. У цих умовах є необхідним розвиток нових інформаційних технологій контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна, які базуються на інтелектуальних методах, оскільки застосування старих підходів у цих умовах є малоефективним і недоцільним. Своєчасний і ефективний моніторинг технічного стану двигуна на основі інтелектуальних технологій (експертних систем, нечіткої логіки, нейронних мереж) дозволяє скоротити час технічного обслуговування у процесі стендових і доводочних випробувань.

В умовах бортової експлуатації моніторинг технічного стану авіаційного двигуна на даний час пропонується здійснювати наземно-бортовою системою контролю і діагностики [3, 4, 11]. Окрім розумного поділу ресурсів у процесі виконання завдання бортової ідентифікації його параметрів, такий підхід дозволяє ефективно і по-новому якісно приймати рішення про технічний стан двигуна. Так, бортова система, в основному, вирішує задачі експрес-аналізу, розраховані на ті ресурси, що знаходяться на борту повітряного судна.

Сучасні системи моніторингу та управління експлуатацією авіаційних двигунів здатні контролювати і оцінювати одночасно до 150...200 параметрів. Так, системи «EICAS», «SNECMA», «КОНРАК» ECMS, «АНАЛИЗ», «ДОЗОР» МЕРА, КАРАТ, ИНДИА вирішують широкий спектр завдань контролю і діагностики параметрів авіаційних двигунів і їх підсистем оцінюють основні технічні параметри роботи двигунів. Системи містять дані про номінальні значення параметрів, що контролюються, і відхилення від заданих значень роботи авіаційних двигунів з автоматичним їх обчисленням, наприклад, за допомогою методу допускового контролю. Окрім цього, в усіх перелічених вище системах забезпечується і вжиття заходів щодо їх усунення. Як уже

зазначалося вище, на даний час зі зростанням числа вимірюваних параметрів, в умовах неповноти, недостовірності вимірюваної інформації, шумів вимірювань тощо метод допускового контролю як існуючий підхід є малоефективним.

Проведений аналіз показує [3, 4, 9, 16], що у сучасних, як наземних, так і бортових систем моніторингу та управління експлуатацією авіаційних двигунів відсутня інтелектуальна компонента, наявність якої дозволило б істотно підвищити ефективність і якість експлуатації авіаційних двигунів, що на практиці їх обслуговування за технічним станом відобразилося б у скороченні часових інтервалів його технічного обслуговування і прийняття рішень.

Основними задачами, які розв'язуються системами моніторингу технічного стану авіаційних двигунів, є:

- отримання оперативної інформації про стан кожного зразка двигуна для обґрунтованого прийняття рішення про його подальшу експлуатацію;
- прогнозування і попередження розвитку відмов з метою максимально можливого скорочення числа відмов двигуна і зменшення вартості відновлювальних ремонтів;
- локалізація відмов і ідентифікація їх причин і ознак з метою мінімізації обсягу робіт з усунення дефектів;
- вироблення рішень, пов'язаних з плануванням обслуговування авіаційного двигуна.

При цьому слід підкреслити два аспекти проблеми раннього виявлення несправностей у двигуні:

- отримання інформації про стан двигуна;
- використання отриманої інформації для прийняття рішень.

Аналіз існуючих систем моніторингу авіаційних двигунів показує, що вони потребують суттєвих доопрацювань. Це пов'язано із застарілими концепціями і підходами, які в сучасних умовах динамізму розвитку інформаційних технологій часто не витримують гідної конкуренції на світовому ринку авіаційної техніки і технологій. Процес моніторингу і

управління експлуатацією вже не може бути стандартно представленим у рамках «частинних» програм технічного обслуговування і ремонту.

До недоліків сучасних систем моніторингу та управління експлуатацією авіаційних двигунів необхідно віднести таке:

- існуючі системи функціонують відокремлено і взаємодіють у міру необхідності (у процесі аварійних і катастрофічних ситуацій);
- не мають єдиного банку даних випробувань (контролю, діагностики, оцінки ресурсу тощо);
- збережені дані різномірні за своєю суттю (зберігаються в різних форматах, операційних системах, погано структуровані і узгоджені, часто надлишкові);
- відсутня система підтримки та прийняття рішень;
- системи контролю та діагностики базуються на методі допускового контролю;
- випробування здійснюються на морально застарілій апаратурі;
- програми технічного обслуговування і ремонту погано пристосовуються (адаптуються) до швидкоплинних умов експлуатації тощо.

У цих умовах розв'язання проблеми розробки сучасних інформаційних систем моніторингу технічного стану авіаційних двигунів вертольотів в умовах їх бортової експлуатації із використанням методів штучного інтелекту, в тому числі, й нейромережових технологій, є актуальною та своєчасною.

3.2 Характерні особливості нейромережової системи автоматизації моніторингу технічного стану авіаційних двигунів вертольотів у польотних режимах

Спостережуване в техніці витіснення багатьох традиційних технічних засобів автоматизації цифровими перетворювачами надає системам управління характер інформаційно-керуючих систем, а вбудовування в них процедур

розпізнавання образів, акумуляції експериментального знання, планування дій і інших «інтелектуальних» функцій підштовхує розробників називати їх інтелектуальними системами управління (ІСУ). Однак їм властивий недостатній рівень інтелектуальності, і вони поки не виправдовують повною мірою своєї назви [25].

У роботі обговорюються питання підвищення потенціалу управління цих систем із застосуванням як відомих, так і оригінальних результатів в області штучного інтелекту, у тому числі нейромережових і генетичних алгоритмів, а також логічного підходу до подання знань у системах управління і формування цілеспрямованих управлінь (команд, планів дії тощо).

Використання засобів штучного інтелекту розширює потенціал проектування і управління динамічними системами та охоплює завдання:

– з невідомими або вже несправедливими у якійсь точці експлуатації рівняннями динаміки (як у задачах вибору ефективних каналів управління в об'єктах з реконфігурацією);

– задачі, в яких моделі у формі рівнянь динаміки можуть або поступатися за ефективністю свого використання моделям штучного інтелекту (як у задачах планування дій в середовищі), або доцільні в комбінації з моделями штучного інтелекту (табл. 3.4).

Характер перебігу процесів у двигуні, таких як витрата палива, випуск відпрацьованих газів, випромінювання тепла, шум і вібрація, визначаються зовнішніми і внутрішніми чинниками. Перші є вхідними впливами (переміщення важелю керування двигуном, зміна режимів польоту, подача палива тощо). Другі пов'язані з технічним станом механізму, тобто з властивостями його мікроструктури на даний момент часу. При зміні, як тих, так і інших чинників характер функціонування систем двигуна змінюється.

Справедливо і зворотне твердження: якщо змінилися властивості вихідних процесів двигуна, то це викликано або зміною зовнішніх умов його роботи, або зміною його технічного стану [26].

Таблиця 3.4 – Порівняння засобів штучного інтелекту

Засоби	Переваги	Недоліки
Нейромережеві	1. Застосування в багатофакторних проблеми з поганою формалізованістю закономірностей. 2. Високий ступінь розпаралелюваності (швидкодія). 3. Здатність до навчання.	1. Необхідність навчальної інформації представницького набору прикладів «вхід–вихід». 2. Повільність навчання.
Еволюційні (генетичні)	Високий ступінь розпаралелюваності (швидкодія).	1. Априорна невідомість ступеня ефективності в конкретному додатку. 2. Швидшою є самоорганізація природної стихії, ніж інтелектуальний процес.
Продукційні	1. Можливість подання дескриптивно-конструктивних знань і рефлексії. 2. Природність правил («якщо, то»).	1. Складність виконання об'ємних баз правил, недостатньо структуровані. 2. Складність забезпечення коректності висновків.
Об'єктно-орієнтовані (семантичні мережі, фрейми тощо)	1. Структуровані. 2. Висока швидкодія механізмів наслідування властивостей, умовчання і тощо.	1. Складність програмування (відхід від ідеалів штучного інтелекту). 2. Недостатня виразність.
Логічні	1. Висока виразна сила. 2. Коректність. 3. Висока складність розв'язуваних офлайн-задач.	1. Недостатня швидкодія, традиційні додатки – офлайн. 2. Традиційно погана сумісність з евристичними і досвідом. 3. Нерозв'язність великих логік. 4. Недостатність однієї логіки.
Об'єктно-логічні	Об'єднання переваг об'єктно-орієнтованих і логічних.	1. Недоліки логічних моделей. 2. Складність програмування.

Ефективність моніторингу технічного стану авіаційних двигунів вертольотів можна істотно підвищити, аналізуючи тенденції зміни параметрів контролю і діагностики з напрацювання. З цією метою необхідно забезпечити реєстрацію параметра і побудову графіків його зміни за часом експлуатації. Тенденції зміни параметра діагностування аналізуються, як правило, за 10...40 вимірами.

Нейромережева система автоматизації моніторингу технічного стану авіаційних двигунів вертольотів у польотних режимах необхідна для якісної оцінки технічного стану авіадвигунів у польотних умовах з використанням

сучасних методів досліджень при максимальних напрацюваннях з початку експлуатації і після останнього ремонту, а також для реалізації методів статистичного та інформаційного аналізу відмов і несправностей двигуна у процесі його експлуатації, для запобігання його критичних режимів роботи. Це дозволяє забезпечити безпеку і регулярність польотів за рахунок раннього виявлення та локалізації несправностей двигуна; автоматизувати контроль і діагностику технічного стану двигуна на основі аналізу польотної інформації в режимі реального часу; здійснювати формування та ведення бази даних експлуатованих вітчизняних і зарубіжних авіадвигунів задля накопичення інформації щодо удосконалення серійного двигуна і його систем; формувати та вести бази даних відмов і несправностей двигуна, систематизувати їх за типами авіаційних двигунів із застосуванням методів виявлення та локалізації дефектів.

Інформаційна система повинна забезпечувати виконання всіх вимог експлуатаційних документів щодо використання польотної інформації, забезпечення проведення аналізу надійності двигуна, нормативного забезпечення технічної експлуатації [27, 28]. Вхідною інформацією слугують формулярні дані авіаційних двигунів вертольотів, що реєструються на борту повітряного судна. Вихідна інформація може надаватися у вигляді таблиць і графіків щодо параметрів, діагностичних та інформаційних повідомлень, а також відхилень значень параметрів від норми у зручній для користувача формі.

Результати роботи системи містять діагностичні та інформаційні повідомлення, що характеризують технічний стан систем двигуна. Обсяг діагностичних та інформаційних повідомлень визначається кількістю параметрів технічного стану двигуна. Основний режим роботи системи – автоматизований аналіз інформації. Отже, нейромережева система автоматизації моніторингу технічного стану авіаційних двигунів вертольотів у польотних режимах повинна розроблятися з можливістю подальшого її розвитку та вдосконалення. Головні напрямки розвитку містять удосконалення

алгоритмів технічної діагностики; удосконалення процедур інформування користувачів; поліпшення експлуатаційних показників технологічності та інших характеристик технічної експлуатації.

Основними напрямками, що визначають підвищення якості інформаційних технологій моніторингу технічного стану авіаційних двигунів, у тому числі, й вертолітних газотурбінних двигунів, слід вважати інтелектуалізацію процесів обробки інформації з залученням методів інтелектуального аналізу даних, які здатні забезпечити підвищення якості розпізнавання технічного стану двигуна при дії зазначених вище невизначених факторів, а також інтеграцію інформаційних процесів (розподілених локальних баз даних і знань в глобальну базу даних і знань).

Методи інтелектуального аналізу даних є новий напрямок, що доповнює і розвиває класичні статистичні методи дослідження [29], що їх називають у вітчизняній і зарубіжній літературі як Data Mining – «здобич» даних і виявлення знань. Data Mining використовує сучасні інтелектуальні технології, що включають нейронні мережі, нечітку логіку, експертні системи. Ці технології використовуються в даній роботі для вирішення широкого спектра задач моніторингу технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117.

Проблемам створення інформаційних систем моніторингу технічного стану, а також управління експлуатацією складних технічних об'єктів присвячені роботи: В.Г. Августиновича, А.М. Ахмедзянова, І.А. Біргера, В.І. Васильєва, Х.С. Гумерова, В.Т. Дедеш, Н.Г. Дубравського, І.В. Єгорова, С.В. Єпіфанова, В.Н. Єфанова, Ю.С. Кабальнова, В.Г. Кримського, Г.Г. Куликова, Д.Ф. Самбірського, Н.Н. Сиротіна, А.П. Тунакова, В.Т. Шепеля, С.В. Жернакова,, С.О. Дмитрієва тощо. Теоретичні основи створення математичних моделей авіаційних двигунів і їх вузлів розглядаються в роботах В.М. Акімова, В.О. Боровика, О.С. Гуревича, Г.Н. Добрянського, Т.С. Мартянова, Є.М. Тарана, А.Я. Черкеза, А.А. Шевякова тощо.

Незважаючи на значний обсяг досліджень в даних областях, у тому числі,

розроблених О.Ф. Машошиним і С.В. Жернаковим концепцій, методології, методів, алгоритмів й програмного забезпечення інформаційного моніторингу авіаційних турбореактивних двигунів [30, 31], інформаційні системи моніторингу технічного стану вертолітних авіаційних двигунів, у тому числі і ТВ3-117, є малодослідженими і недосконалими за низкою причин, основними з яких є, з одного боку, роз'єднаність баз даних випробувань, моніторингу, недосконалість інтелектуальних компонент, що дозволяють якісно і ефективно здійснювати підтримку прийняття відповідальних рішень і, як наслідок, зменшувати загальний час, що витрачається командиром екіпажу повітряного судна на прийняття відповідного рішення щодо можливості здійснення польоту, складність його математичного опису, залежність технічних характеристик двигуна від зовнішніх умов роботи, обмежений склад вимірюваних термогазодинамічних параметрів двигуна, їх технологічний розкид тощо. Зазначені фактори призводять до необхідності прийняття рішень про технічний стан авіаційного двигуна вертольоту в умовах суттєвої невизначеності, що призводить до модифікацій концепцій, методологій, методів, алгоритмів й програмного забезпечення його інформаційного моніторингу.

Аналіз робіт в області побудови інформаційних систем моніторингу технічного стану сучасних авіаційних двигунів як в Україні, так і за кордоном свідчить про те, що при їх розробці намітилася стійка тенденція до інтелектуалізації та перехід від пасивного контролю до активного, що дозволяє не тільки локалізувати відмови, але і по можливості усунути їх [31–35]. Таким чином, інформаційні системи моніторингу поступово виділяються в самостійні системи, що володіють високою складністю, багатопроцесорних, здатні вирішувати комплексні завдання з високою якістю та ефективністю в темпі реального часу. Слід відзначити і ту обставину, що сучасні інформаційні системи моніторингу взаємодіють з системами управління авіаційних двигунів, дозволяючи останнім плавно і сучасно впливаючи на виконавчі механізми, з

одного боку, підвищувати якість управління авіаційним двигуном і його підсистемами, а з іншого, підвищувати їх надійність в процесі льотної експлуатації повітряних суден. Однак наявність факторів невизначеності (Нічинників), а також необхідність прийняття оперативних рішень в реальному часі створюють додаткові проблеми в процесі моніторингу в рамках льотної експлуатації повітряного судна. Сучасні інформаційні системи моніторингу технічного стану авіаційних двигунів вирішують широкий спектр завдань, пов'язаних з оцінкою їх залишкового ресурсу і контролем параметрів. У процесі виконання завдання вироблення ресурсу двигуна розв'язують задачу прогнозу (короткострокового) поточного стану двигуна і тренд-аналізу його параметрів.

У сучасних інформаційних системах моніторингу в умовах бортової експлуатації повітряного судна розв'язуються наступні задачі контролю великого числа параметрів двигуна [36]: температури і тиску газів за і перед турбіною; частоти обертання ротора компресора низького і високого тиску; працездатності системи мастила і суфлювання двигуна по граничних значень параметрів маслосистеми двигуна; витрати масла зі зміни рівня в маслобаку двигуна; працездатності паливної системи двигуна; рівня вібрацій; температури в порожнинах двигуна; температури підшипника; масової витрати палива; температури і тиску повітря за компресором; технічного стану проточної частини двигуна по його термогазодинамічних параметрам.

Разом з тим, при великому різноманітті виконуваних завдань, існують певні складності: обмежені обчислювальні ресурси (обсяг оперативної пам'яті, швидкодія, точність отриманих результатів); труднощі формалізації класичних алгоритмів контролю та діагностики і, як наслідок, їх практичної реалізації; необхідність реалізації перерахованих вище алгоритмів на мові низького рівня (асемблер); труднощі відновлення інформації при відмові датчиків. У цих умовах використання нейромережевих технологій вельми перспективно.

Аналіз робіт в області моніторингу технічного стану авіаційних двигунів

на основі нейронних мереж [37–50] показує, що в даний час такі роботи ведуться, проте в силу низки причин (таємність, вузька спеціалізація вирішуваних завдань) в більшості публікацій відсутні інженерні методики, а також теоретичні та практичні рекомендації щодо розв'язання подібних задач.

Отже, зважаючи на вищевикладене, основними задачами створення нейромережевої системи автоматизації моніторингу технічного стану авіаційних двигунів вертольотів, є:

1. Розробка інформаційної системи моніторингу технічного стану авіаційного двигуна вертольоту в умовах льотної експлуатації повітряного судна, що включає в себе:

- визначення основних термогазодинамічних параметрів, що використовуються в ній;
- розробка узагальненої нейронної мережі;
- визначення стійкості нейронної мережі до зовнішніх збурень (розробка методу підвищення робастності нейронної мережі);
- розробка математичної моделі нейрону, що є базовою одиницею будь-якої нейронної мережі;
- оптимізація параметрів робочого процесу.

2. Розв'язання практичних задач моніторингу технічного стану авіаційного двигуна вертольоту в умовах льотної експлуатації повітряного судна, що включають в себе задачу класифікації, ідентифікації, контролю, діагностики, прогнозування технічного стану авіаційного двигуна вертольоту.

3. Розробка нейромережевої експертної системи інформаційного моніторингу технічного стану авіаційного двигуна вертольоту в умовах льотної експлуатації повітряного судна.

4. Розробка нейромережевої моделі підтримки прийняття рішень щодо розв'язання задачі неповноти і невизначеності інформації.

Розв'язання усіх вищеназваних задач, окрім задачі оптимізації, детально викладено у [51].

3.3 Основні параметри нейромережевої системи автоматизації моніторингу технічного стану авіаційних двигунів вертольотів в умовах його бортової експлуатації

Моніторинг авіаційного двигуна вертольоту, що базується на вимірюванні та аналізі параметрів його роботи, має ґрунтуватися на математичних моделях, що описують спільну роботу вузлів двигуна. Математична модель дозволяє визначити взаємозв'язок між показниками, що характеризують комплектність двигуна і вимірювані параметри.

Відомо, що різна комплектність авіаційного двигуна вертольоту призводить до зміни низки параметрів його роботи, до того ж вплив різних деталей і вузлів на одні і ті ж параметри неоднакові.

Тому оцінювати їх вплив слід за такими параметрами як ККД компресора, ККД турбіни тощо («первинні» параметри). При зміні ККД вузлів та інших параметрів, будуть змінюватися параметри від них залежні – температура газу, витрата повітря, витрата палива, потужність тощо («вторинні» параметри).

Математична модель повинна встановити взаємозв'язок між «первинними» і «вторинними» параметрами. Такі математичні моделі відомі [52], однак потрібно виявити вплив на параметри авіаційного двигуна вертольоту зміщення його характеристик, що вимагає введення до математичних моделей додаткових змінних.

Це може бути здійснено шляхом включення до вихідної системи рівнянь, що описує спільну роботу вузлів двигуна, додаткових рівнянь, що апроксимують ті чи інші характеристики, з подальшим розв'язанням отриманої системи щодо первинних параметрів.

На рис. 3.1 представлена блок-схема математичної моделі турбовального двигуна з вільною турбіною.

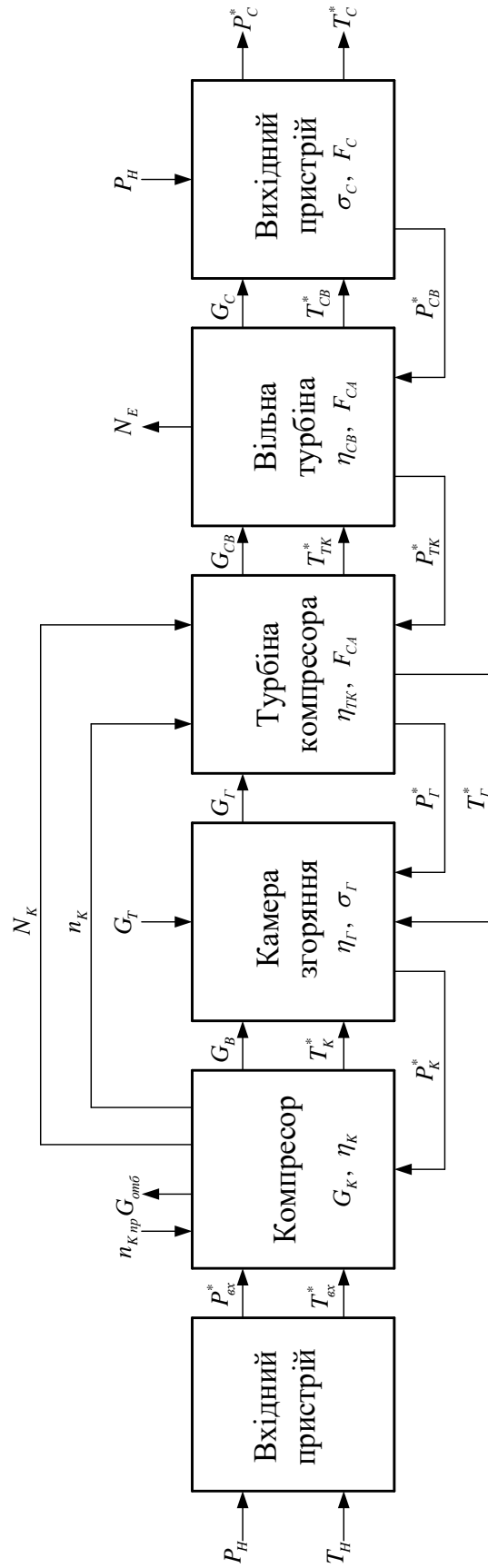


Рисунок 3.1 – Блок-схема математичної моделі турбовального двигуна з вільною турбіною

Як розглядалося у [52–54], представимо системи рівнянь, що описують процеси, які відбуваються в основних вузлах турбовального двигуна з вільною турбіною: у вхідному пристрої, у компресорі, у камері згоряння, у турбіні компресора, у вільній турбіні, у вихідному пристрої. У дані рівняння введені характеристики компресора і турбіни.

Вхідний пристрій

Повний тиск повітря за вхідним пристроєм визначається згідно виразу:

$$P_{\text{вх}}^* = P_0 \cdot \sigma_{\text{вх}}; \quad (3.3)$$

де $\sigma_{\text{вх}}$ – коефіцієнт відновлення повного тиску повітря у вхідному пристрої.

Повна температура повітря за вхідним пристроєм визначається згідно виразу:

$$T_{\text{вх}}^* = T_H \cdot \frac{1 + (k - 1) \cdot M^2}{2}. \quad (3.4)$$

Компресор

Витрата повітря через компресор визначається згідно виразу:

$$G_B = G_{Bnp} \cdot \sqrt{\frac{288}{T_{\text{вх}}^*}} \cdot \frac{P_{\text{вх}}^*}{101,3}; \quad (3.5)$$

де G_{Bnp} – приведена витрата повітря через компресор.

Ступінь підвищення повного тиску в компресорі є функціональною залежністю виду:

$$\pi_K^* = \pi_K(G_{Bnp}, n_{Knp}); \quad (3.6)$$

де n_{Knp} – приведена частота обертання ротора компресора.

Ступінь підвищення повного тиску в компресорі визначається згідно виразу:

$$\pi_K^* = \frac{P_K^*}{P_{\text{вх}}^*}; \quad (3.7)$$

де P_K^* – повний тиск повітря за компресором.

Температура повітря за компресором визначається згідно виразу:

$$T_K^* = T_{ex}^* \cdot \frac{1 + \left((\pi_K^*)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right)}{\eta_K}; \quad (3.8)$$

де η_K – ККД компресора; k – показник ізоентропи повітря (приймається рівним 1,4).

Тиск повітря за компресором визначається згідно виразу:

$$P_K^* = P_H \cdot \pi_K \cdot \left(\frac{T_K^*}{T_H + \frac{102,5 \cdot T_H \cdot (\pi_K^{0,286} - 1)}{102,5 \cdot \eta_{AD}}} \right)^{\frac{k_B}{k_B - 1}}; \quad (3.9)$$

де $\eta_{AD} = 0,85 \pm 5 \%$.

ККД компресора є функціональною залежністю виду:

$$\eta_K = \eta_K(G_{Bnp}, n_{Knp}). \quad (3.10)$$

ККД компресора за нормального функціонування двигуна знаходиться в межах $0,855 \pm 5 \%$ й визначається згідно виразу:

$$\eta_K = \frac{\pi_K^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\pi_K^{\frac{k-1}{k} \cdot \eta_{CT}} - 1}; \quad (3.11)$$

де $\eta_{CT} = 0,88 \dots 0,92$ – ККД ступені компресора.

Потужність, що потрібна для обертання компресора, визначається згідно виразу:

$$N_K = \frac{k}{k-1} \cdot \frac{R_B \cdot T_{ex}^* \cdot G_B}{\eta_K} \cdot \left((\pi_K^*)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right); \quad (3.12)$$

де R_B – газова стала повітря.

Відбір повітря з компресора є функціональною залежністю виду:

$$G_{отб} = G(G_B). \quad (3.13)$$

Частота обертання ротора компресора визначається згідно виразу:

$$n_K = n_{Knp} \cdot \sqrt{\frac{T_{ex}^*}{288}}. \quad (3.14)$$

Камера згоряння

$$G_B \cdot C_{PB}^{T_K^*} \cdot T_K^* + G_T \cdot C_{PT} \cdot T_T + G_T \cdot H_U \cdot \eta_T = G_T \cdot C_{PT}^{T_G^*} \cdot T_G^*; \quad (3.15)$$

де $C_{PB}^{T_K^*}$ – питома теплоємність повітря при температурі T_K^* ; $C_{PT}^{T_G^*}$ – питома теплоємність газу при температурі T_G^* ; G_T – витрата палива; T_T – температура палива; C_{PT} – питома теплоємність палива; H_U – теплотворна здатність палива (приймається рівною 10500 Дж/кг); η_T – коефіцієнт повноти згоряння палива в камері згоряння (приймається рівним 0,94...0,96); T_G^* – температура газів за камерою згоряння.

Повний тиск повітря за компресором визначається згідно виразу:

$$P_K^* = \frac{P_G^*}{\sigma_T}; \quad (3.16)$$

де σ_T – коефіцієнт відновлення повного тиску газу в камері згоряння (приймається рівним 0,94...0,96); P_G^* – повний тиск газу за камерою згоряння.

Витрата газу через турбіну компресора визначається згідно виразу:

$$G_T = G_B - G_{omb} + G_T. \quad (3.17)$$

Турбіна компресора

Потужність на валу турбіни компресора визначається згідно виразу:

$$N_{TK} = \frac{k_T}{k_T - 1} \cdot R_T \cdot T_G^* \cdot G_T \cdot \eta_{TK}^* \cdot \left(\left(\pi_{TK}^* \right)^{\frac{1-k_T}{k_T}} - 1 \right); \quad (3.18)$$

де k_T – показник езоентропи газу (приймається рівним 1,32...1,33); R_T – газова стала газу (приймається рівною 287...288 Дж/кг·К); π_{TK}^* – ступінь зниження повного тиску газу в турбіні компресора; η_{TK}^* – ККД турбіни компресора за параметрами загальмованого потоку.

Повний тиск газу за турбіною компресора визначається згідно виразу:

$$P_{TK}^* = \frac{P_H \cdot \pi_K^* \cdot \sigma_\Gamma}{\pi_{TK}^*}; \quad (3.19)$$

де ступінь зниження повного тиску газу в турбіні компресора визначається згідно виразу:

$$\pi_{TK}^* = \frac{1}{\left(1 - \frac{\Delta T_{TK}^*}{T_\Gamma \eta_{TK}^*}\right)^{\frac{k_\Gamma}{k_\Gamma - 1}}}. \quad (3.20)$$

де ΔT_{TK}^* – зниження температури в турбіні, що визначається згідно виразу:

$$\Delta T_{TK}^* = \frac{L_T}{\frac{k_\Gamma}{k_\Gamma - 1} R_\Gamma}; \quad (3.21)$$

Питома робота турбіни визначається згідно виразу:

$$L_T = \frac{L_K (1 + l_{AGP})}{\eta_M \nu_\Gamma}; \quad (3.22)$$

де величина $\eta_M = 0,985 \dots 0,995$; $l_{AGP} = \frac{L_{AGP}}{L_K} = 0,001 \dots 0,002$ – величина відносної

потужності відбору від валу до турбіни; $L_K = \frac{102,5 \cdot T_H \cdot (\pi_K^{0,286} - 1)}{\eta_{AD} \cdot \eta_M}$ – питома

робота компресора; $\nu_\Gamma = \nu_K \cdot (1 + q_T)$ – коефіцієнт зміни маси газу на вході в турбіну.

Величина ν_K – коефіцієнт зміни витрати повітря на виході із компресора визначається згідно виразу:

$$\nu_K = 1 - g_{отб.ла} - g_{охл.т} - g_{ум}; \quad (3.23)$$

$g_{отб.ла}$ – відносна витрата повітря, що відбирається з компресора, повністю призначений для забезпечення систем повітряного судна, приймається приблизно рівною 0,04; $g_{охл.т}$ – відносна витрата повітря, що надходить із компресора для охолодження турбіни, задається наближено залежно від температури палива на виході із камери згоряння T_4); $g_{ум}$ – відносна витрата витоку повітря в компресорі, приймається приблизно рівною 0,04.

Величина q_T – відносна витрата палива, визначається згідно виразу:

$$q_T = \frac{c_p T_G^* - c_p T_K^*}{H_U \eta_T - c_{pn} T_G^* + c_{pn} T_{CB}^*}; \quad (3.24)$$

де $H_U = 10500$ Дж/кг – теплотворність палива; η_T – коефіцієнт повноти згоряння в камері згоряння, приймається рівним 0,99...0,995; а величини $c_p T_G^*$, $c_p T_K^*$, $c_{pn} T_G^*$, $c_{pn} T_{CB}^*$ визначаються за графіками, наведеними у [55].

Потужність на валу турбіни компресора визначається згідно іншого виразу:

$$N_{TK} = \frac{N_K}{\eta_M}; \quad (3.25)$$

де η_M – механічний ККД.

Витрата газу через турбіну компресора визначається згідно виразу:

$$N_{TK} = m_{TK} \cdot \frac{F_{CA} \cdot P_G^* \cdot q(\lambda_{TK})}{\sqrt{T_G^*}}; \quad (3.26)$$

де m_{TK} – чисельний коефіцієнт в рівнянні витрати газу через турбіну компресора; F_{CA} – площа мінімального перерізу вихідного пристрою першого ступеня турбіни компресора; $q(\lambda_{TK}) = \text{const}$ – газодинамічна функція.

ККД турбіни компресора за параметрами загальмованого потоку є функціональною залежністю виду:

$$\eta_{TK}^* = \eta_{TK}(\pi_{TK}^*, n_{TK}). \quad (3.27)$$

де n_{TK} – частота обертання турбіни компресора.

Частота обертання турбіни компресора є рівною частоті обертання робота компресора, а саме $n_{TK} = n_K$.

Температура газів за турбіною компресора визначається згідно виразу:

$$T_{TK}^* = T_G^* \left(1 - \eta_{TK}^* \left(1 - \left(\frac{1}{\pi_{TK}^*} \right)^{\frac{k_T-1}{k_T}} \right) \right). \quad (3.28)$$

Тяга двигуна – реактивна тяга, що виробляється тільки за рахунок

швидкості газу за турбіною R , визначається згідно виразу:

$$R = G_B \cdot \frac{1 + \alpha \cdot L_0}{\alpha \cdot L_0} \cdot \frac{C}{g}; \quad (3.29)$$

де $C = 300$ м/с; $L_0 = 14,8$ кг – теоретично необхідна кількість повітря для

згоряння 1 кг палива; $\alpha = \frac{\xi \cdot H_U - ((1 + L_H) \cdot c_p'' - c_p' \cdot L_H) \cdot (T_G^* - T_H)}{c_p \cdot L_H \cdot (T_G^* - T_K^*)}$ – необхідний

коефіцієнт надлишку повітря; $\xi = 0,95 \dots 0,99$; $c_p'' = 0,234 + 0,0000676 \cdot \frac{T_G^* + T_H}{2}$ –

середня питома теплоємність «чистих» продуктів згоряння для температурного

інтервалу T_G^* і T_0 ; $c_p' = 0,224 + 0,0000472 \cdot \frac{T_G^* + T_H}{2}$ – середня питома

теплоємність повітря для температурного інтервалу T_G^* і T_H ;

$c_p = 0,224 + 0,0000472 \cdot \frac{T_G^* + T_K^*}{2}$ – середня питома теплоємність температурного

інтервалу T_G^* і T_K^* .

Робота турбіни компресора визначається згідно виразу:

$$A_{TK} = \frac{1}{A} \cdot c_p' \cdot T_G^* \cdot \eta_{TK} \cdot \left(1 - \left(\frac{P_H}{P_H \cdot \pi_K^* \cdot \sigma_G} \right)^{\frac{k'-1}{k'}} \right); \quad (3.30)$$

де k' – дійсне значення показника адіабати продуктів згоряння, приймається рівним $1,3 \pm 5$ % або визначається згідно виразу (для більш точного визначення):

$$k' = \frac{c_p''}{c_p' - R_1 \cdot A}; \quad (3.31)$$

де $R_1 = \frac{29,45 \cdot (1 + L_0) + 29,27 \cdot (\alpha - 1) \cdot L_0}{1 + \alpha \cdot L_0}$ – газова постійна продуктів згоряння;

$A \approx 0,002$ – поправочний коефіцієнт.

Вільна турбіна

Витрата газу через вільну турбіну G_{CB} є рівною витраті газу через сопло G_C , а саме, $G_{CB} = G_C$.

Приведена витрата газу через вільну турбіну є функціональною залежністю виду:

$$G_{CBnp} = G(\pi_{CB}^*, n_{CBnp}); \quad (3.32)$$

де π_{CB}^* – ступінь зниження повного тиску газу у вільній турбіні; n_{CBnp} – приведена частота обертання ротора вільної турбіни.

Приведена витрата газу через вільну турбіну визначається згідно виразу:

$$G_{CBnp} = 5,97 \cdot \frac{G_{CB} \cdot \sqrt{T_{TK}^*}}{P_{TK}^*}. \quad (3.33)$$

Ступінь зниження повного тиску газу у вільній турбіні визначається згідно виразу:

$$\pi_{CB}^* = \frac{P_{TK}^*}{P_{CB}^*}; \quad (3.34)$$

де P_{CB}^* – повний тиск газу за вільною турбіною.

Температура газу за вільною турбіною визначається згідно виразу:

$$T_{CB}^* = T_{TK}^* \cdot \left(1 - \eta_{CB} \cdot \left(1 - \left(\frac{1}{\pi_{CB}^*} \right)^{\frac{k_{\Gamma}-1}{k_{\Gamma}}} \right) \right); \quad (3.35)$$

де η_{CB} – ККД вільної турбіни.

Потужність на валу турбовального двигуна визначається згідно виразу:

$$N_E = \frac{k_{\Gamma}}{k_{\Gamma}-1} \cdot R_{\Gamma} \cdot T_{TK}^* \cdot G_{CB} \cdot \eta_{\Sigma CB} \cdot \left(1 - \left(\pi_{\Sigma CB}^* \right)^{\frac{1-k_{\Gamma}}{k_{\Gamma}}} \right); \quad (3.36)$$

де $\eta_{\Sigma CB}$ – потужнісний ККД вільної турбіни; $\pi_{\Sigma CB}^*$ – сумарна ступінь зниження тиску у вільній турбіні і вихідному пристрої.

Потужнісний ККД вільної турбіни визначається згідно виразу:

$$\eta_{\Sigma CB} = \eta_{CB}^* \cdot \frac{1 - \frac{1}{(\pi_{CB}^*)^{\frac{1-k_T}{k_T}}}}{1 - \frac{1}{(\pi_{\Sigma CB}^*)^{\frac{1-k_T}{k_T}}}}; \quad (3.37)$$

де η_{CB}^* – ККД вільної турбіни за параметрами загальмованого потоку.

ККД вільної турбіни за параметрами загальмованого потоку є функціональною залежністю виду:

$$\eta_{CB} = \eta_{CB}(\pi_{CB}^*, n_{CBnp}). \quad (3.38)$$

Приведена частота обертання ротора вільної турбіни визначається згідно виразу:

$$n_{CBnp} = \frac{n_{CB}}{\sqrt{T_{TK}^*}}; \quad (3.39)$$

де n_{CB} – частота обертання ротора вільної турбіни.

Сумарна ступінь зниження тиску у вільній турбіні і вихідному пристрої визначається згідно виразу:

$$\pi_{\Sigma CB}^* = \frac{P_{TK}^*}{P_H}. \quad (3.40)$$

Питома витрата палива визначається згідно виразу:

$$C_E = \frac{G_T}{N_E}. \quad (3.41)$$

Вихідний пристрій

Повний тиск газу за вільною турбіною визначається згідно виразу:

$$P_{CB}^* = \frac{P_C^*}{\sigma_C}; \quad (3.42)$$

де P_C^* – повний тиск газу за вихідним пристроєм; σ_C – коефіцієнт відновлення повного тиску газу у вихідному пристрої.

Витрата газу через вихідний пристрій визначається згідно виразу:

$$G_C = \frac{P_C^* \cdot F_C \cdot m_C \cdot q(\lambda_C)}{\sqrt{T_C^*}}; \quad (3.43)$$

де T_C^* – температура газу у вихідному пристрої; F_C – площа вихідного пристрою; m_C – чисельний коефіцієнт в рівнянні витрати газу через вихідний пристрій; $q(\lambda_C)$ – газодинамічна функція, що визначається згідно виразу:

$$q(\lambda_C) = \left(\frac{k_\Gamma + 1}{2} \right)^{\frac{1}{k_\Gamma - 1}} \cdot \pi_C^{-\frac{1}{k_\Gamma}} \cdot \sqrt{\frac{k_\Gamma + 1}{k_\Gamma - 1} \cdot \left(1 - \pi_C^{\frac{1 - k_\Gamma}{k_\Gamma}} \right)}; \quad (3.44)$$

де π_C – ступінь зниження тиску у вихідному пристрої що визначається згідно виразу:

$$\pi_C = \frac{P_C^*}{P_H}. \quad (3.45)$$

Температура газу у вихідному пристрої є рівною температурі газу за вільною турбіною, тобто $T_C^* = T_{CB}^*$. Режим роботи авіаційного двигуна вертольоту задається параметром $n_{Кпр}$.

Атмосферні умови і вхідний пристрій визначає параметри повітря на вході в компресор згідно з (3.3) і (3.4). Характеристики компресора і умови на вході визначають витрата повітря відповідно до рівнянь (3.5) і (3.6).

Температура газів перед турбіною компресора визначається балансом потужностей на валу згідно з (3.25). Витрата повітря і температура потоку на підставі рівнянь нерозривності визначають тиск газу у відповідних перерізах проточної частини згідно з (3.26) і (3.43).

Густина струму $q(\lambda)$ в соплових апаратах багатоступеневих турбін може вважатися незалежною величиною від перепаду тиску в турбіні компресора.

Згідно з наведеною на рис. 3.1 блок-схемою взаємозв'язок між основними вузлами двигуна, такими як, вхідним пристроєм, компресором, камерою згоряння, турбіною компресора, вільною турбіною, вихідним пристроєм, обумовлена нерозривністю потоку, що призводить до певного значення тиску

за відповідним вузлом, позначений стрілками P_{CB}^* , P_{TK}^* , P_{Γ}^* , P_K^* . Баланс потужностей на валу турбокомпресора і залежність температури T_{Γ}^* від потрібної потужності привода компресора позначена на блок-схемі відповідними зв'язками N_K і T_{Γ}^* . Таким чином, зв'язки P_{CB}^* , P_{TK}^* , P_{Γ}^* , P_K^* , T_{Γ}^* , n_K , N_K на блок-схемі є внутрішніми, що відображають взаємний вплив вузлів двигуна. Параметри P_H і T_H є вхідними, а $n_{\Sigma CB}$, P_C^* , T_C^* – вихідними. Останні визначаються з (3.37) і (3.42).

Згідно з [52–54] представимо лінеаризовані рівняння робочих процесів авіаційних турбовальних двигунів з вільною турбіною (авіаційних двигунів вертольотів) у вигляді:

$$\begin{cases} K_3 \cdot \delta\pi_{TK}^* = (K_1 - K_{11}) \cdot \delta\pi_K^* - \delta T_{\Gamma}^* - \delta\eta_K - \delta\eta_{\Gamma} \\ \delta\pi_{\Sigma} = \delta\pi_K^* - \delta\pi_{TK}^* + \delta\sigma_{ex} + \delta\sigma_{\Gamma} + \delta\sigma_C \\ (1 - 0,5 \cdot K_3 \cdot K_4) \cdot \delta\pi_{TK}^* = \delta\sigma_C + K_6 \cdot \delta\pi_{\Sigma} + 0,5 \cdot K_4 \cdot \delta\pi_{TK}^* \\ \delta G_B = K_{10} \cdot \delta\pi_K^* + \delta\sigma_{ex} \\ (1 - K_{10}) \cdot \delta\pi_K^* = 0,5 \cdot \delta T_{\Gamma}^* - \delta\sigma_C - \delta F_{CA} \\ \delta T_K^* = (K_1 - K_{11}) \cdot K_2 \cdot \delta\pi_K^* - K_2 \cdot \delta\eta_K \\ \delta\pi_{TK}^* = \delta T_{\Gamma}^* - K_4 \cdot \delta\eta_{\Gamma} - K_3 \cdot K_4 \cdot \delta\pi_{TK}^* \\ \delta G_{\Gamma} = \delta G_B + K_5 \cdot \delta T_{\Gamma}^* - (K_s - 1) \cdot \delta T_K^* - \delta\eta_{\Gamma} \end{cases} \quad (3.46)$$

Система рівнянь (3.4+) утворюють замкнену систему. Розв'язання системи дозволяє визначити відхилення будь-якої з вторинних змінних через відхилення первинних.

При розв'язанні системи рівнянь (3.46), згідно з [52–54], формуються додаткові коефіцієнти, що поряд з вже наявними коефіцієнтами представлені у табл. 3.5.

Задача вибору системи параметрів, що вимірюються, і складання алгоритму моніторингу технічного стану авіаційних двигунів вертольотів вимагають виявлення впливу відхилень кожного з первинних параметрів на всі вимірювані. Для цього кожен з вторинних параметрів повинен бути

представлений як функція первинних параметрів, що може бути виконано шляхом розв’язання системи рівнянь (3.46).

Таблиця 3.5 – Залежності для визначення вихідних коефіцієнтів взаємного впливу параметрів авіаційного турбовального двигуна з вільною турбіною

Коефіцієнт	Залежність
1	2
Основні коефіцієнти	
K_1	$\frac{k-1}{k} \cdot \frac{(\pi_K^*)^{\frac{k-1}{k}}}{(\pi_K^*)^{\frac{k-1}{k}} - 1}$
K_2	$1 + \frac{\eta_K}{(\pi_K^*)^{\frac{k+1}{k}} - 1}$
K_3	$\frac{k-1}{k} \cdot \frac{1}{(\pi_{TK}^*)^{\frac{k-1}{k}} - 1}$
K_4	$\frac{1}{\eta_K \cdot \left(1 - (\pi_K^*)^{\frac{1-k}{k}}\right) - 1}$
K_5	$\frac{T_\Gamma^*}{T_\Gamma^* - T_K^*}$
K_6	$\frac{k-1}{2 \cdot k} \cdot \frac{1}{(\pi_C^*)^{\frac{k-1}{k}} - 1} - \frac{1}{k}$
K_7	$\frac{f(\lambda_C) \cdot \pi_C}{f(\lambda_C) \cdot \pi_C - 1}$
K_8	$1 + \frac{\delta \cdot f(\lambda_C)}{\delta \cdot \pi_C}$
K_9	$1 + \frac{G_B \cdot V}{R}$
K_{10}	$\frac{\Delta \overline{G}_B}{\Delta \overline{G}_{B0}} \cdot \frac{\pi_{K0}^*}{\Delta \pi_K^*}$

1	2
K_{11}	$\frac{\Delta\eta_K}{\eta_{K0}} \cdot \frac{\pi_{K0}^*}{\Delta\pi_K^*}$
Додаткові коефіцієнти	
\bar{K}	$\frac{1}{K_{10} - 1 + 0,5 \cdot (K_1 - K_{11})}$
K_z	$\frac{1}{1 - 0,5 \cdot K_3 \cdot K_4 + K_6 \cdot (1 - K_y)}$
K_y	$0,5 \cdot \bar{K} \cdot K_3$
K_x	$K_{10} \cdot K_y \cdot K_z$
K_L	$K_1 - K_{11}$
K_n	$K_2 \cdot (K_1 - K_{11}) \cdot (K_5 - 1)$
K_T	$(K_1 - K_{11}) \cdot K_y - K_3$
K_m	$0,5 \cdot (K_6 \cdot \bar{K} + K_4)$
K_s	$1 - K_6 \cdot \bar{K}$
K_a	$K_6 \cdot K_z$
K_b	$K_a \cdot (K_y - 1) + 1$
K_c	$K_a + K_b$
K_d	$0,5 \cdot \bar{K} + K_y \cdot K_z \cdot K_m$
K_f	$K_a \cdot K_y \cdot (1 + \bar{K}) + \bar{K}$

Найбільш зручним методом розв'язання при великій кількості рівнянь є метод послідовного виключення невідомих. Він потребує меншого обсягу обчислень, ніж інші методи.

Велика кількість рівнянь системи, що розглядається, не дозволяє розв'язати її у загальному вигляді. Тому розв'язання системи доцільно проводити при числових значеннях коефіцієнтів, тобто конкретного двигуна. Порядок взаємної підстановки рівняння впливає із блок-схеми математичної моделі аналізованого двигуна (див. рис. 3.1).

У результаті розв'язання системи рівнянь (3.46) утворюється матриця коефіцієнтів взаємного впливу первинних та вторинних параметрів. У результаті система рівнянь взаємозв'язку первинних і вторинних властивостей представляється як:

$$|\delta y_i| = |a_{ij}| \cdot |\delta x_i|; \quad (3.47)$$

де $|a_{ij}|$ – матриця коефіцієнтів взаємного впливу параметрів; δy_i – відносні збільшення вторинних параметрів; δx_i – відносні збільшення первинних параметрів.

Враховуючи незалежність первинних параметрів, на підставі (3.47) збільшення вторинних параметрів можна представити як:

$$\delta y_i = \sum_{i=1}^r a_{ij} \cdot \delta x_i; \quad (3.48)$$

де r – кількість визначених первинних параметрів.

Розв'язавши систему рівнянь (3.45) щодо первинних змінних, можна виразити кожен з них через вимірювані параметри:

$$\delta x_i = \sum_{i=1}^r b_{ij} \cdot \delta y_i. \quad (3.49)$$

Значення коефіцієнтів b_{ij} будуть визначатися значеннями коефіцієнтів a_{ij} , тобто залежатимуть від обраних для вимірювання параметрів.

Рівняння (3.49), що становлять залежності первинних параметрів від вимірюваних, можуть бути використані для оцінюванні зміни первинних параметрів відхилень, що вимірюються від їх заданого значення. Алгоритм моніторингу в цьому випадку зводиться до визначення відхилення параметрів, що вимірюються, від заданого рівня і розв'язання рівнянь (3.49).

Отже, для оцінювання технічного стану авіаційного двигуна вертольоту контролюється множина різних за своєю фізичною природою параметрів. Досвід експлуатації авіаційних двигунів показує, що оцінка їх стану вимагає комплексного використання методів і засобів моніторингу (контролю,

діагностики тощо), узагальнення вихідної діагностичної інформації для прийняття правильного і своєчасного рішення. У загальному випадку, прийняття рішення про технічний стан авіаційного двигуна вертольоту і його систем проводиться в умовах дії множини невизначених факторів, основними з яких є:

- нестационарність фізичних процесів, що протікають в двигуні і його системах;

- процеси ерозії та зносу механічних вузлів;

- технологічний розкид параметрів при виробництві двигуна і його систем;

- недосконалість методів і засобів вимірювання газодинамічних параметрів двигуна, які призводять до наявності додаткових помилок контролю;

- вплив на характеристики двигуна і його систем особливостей конструкції випробувального стенду тощо.

До числа особливостей авіаційного двигуна вертольоту як об'єкта моніторингу також відносяться:

- багатопов'язність (багатовимірність), обумовлена взаємодією декількох одночасно протікаючих процесів обміну і перетворення енергії;

- наявність великого числа ступенів свободи, що визначаються кількістю регулюючих елементів;

- вплив зовнішніх умов функціонування на основні характеристики двигуна;

- велика інформаційна продуктивність, що визначається кількістю контрольованих параметрів і швидкістю їх вимірювання.

Точність призначення допусків на вимірювані параметри в цих умовах зазвичай невисока. З огляду на наявність зазначених вище факторів невизначеності, «класичні» методи моніторингу доводиться допрацьовувати, так як в розглянутих умовах вони погано справляються з поставленими перед

ними завданнями. Інтеграція «класичних» і інтелектуальних методів, призначених для розв'язання погано структурованих задач, істотно підвищує ефективність контролю і якість прийнятих рішень.

У цих умовах використання апарату нейронних мереж виявляється досить перспективним. За результатами вимірювань вхідних і вихідних параметрів авіаційного двигуна вертольоту встановлюються їх причинні взаємозв'язки, а потім вибираються або розраховуються за певними аналітичними залежностями ознаки для моніторингу стану об'єкта. Для цього використовуються спеціальні методи оцінки параметрів, спостереження за показниками стану і співвідношенням паритетів. Зміни вимірних або розрахованих ознак слугують симптомами для встановлення можливих помилок у функціонуванні виконавчих органів, датчиків або процесу в цілому. Ці симптоми, доповнені спостереженнями екіпажем повітряного судна і евристичними правилами, подаються далі в систему моніторингу на базі нейронних мереж, здатних узагальнити отриману інформацію і прийняти правильне рішення про технічний стан авіаційного двигуна вертольоту.

3.4 Узагальнена нейромережева модель авіаційного двигуна вертольоту

При використанні нейронних мереж для розв'язку задач моніторингу технічного стану авіаційних двигунів вертольотів у польотних режимах наявна апріорна інформація подається нейронній мережі у вигляді готових рішень (задачників), на основі яких здійснюється процес її навчання (донавчання). Під час оцінки якості роботи мережі на її вхід подаються дані з тестової вибірки, на основі яких вона обчислює вектор відхилень (різниця між виходом нейронної мережі і бажаними характеристиками) [56, 57].

Окрім того, нейронні мережі мають низку незаперечних переваг:

– вони здатні вирішувати погано формалізовані традиційними

математичними методами задачі, до числа яких належать моніторинг технічного стану двигуна вертольоту і класифікація його інформаційно-ідентифікаційних ознак за класами функціональних станів;

– розв’язок зазначених задач можливий у режимі реального часу за рахунок високої швидкості роботи нейронної мережі, що особливо важливо для бортової системи;

– зважаючи на різноманіття зв’язків у нейронній мережі, її надійна робота можлива навіть за пошкодженні деяких з них;

– у процесі своєї роботи нейронна мережа здатна самонавчатися відповідно до змінювальних у процесі експлуатації двигуна параметрів.

Створення бортової системи моніторингу технічного стану двигуна на основі нейромережових технологій, структурно-логічна схема якої показана на рис. 3.2, включає такі етапи [58–60]:

– ідентифікацію систем і агрегатів, і авіаційного двигуна вертольоту зокрема, тобто створення нейронної мережі (що включає вибір її типу та архітектури), вхідними значеннями якої є функціональні параметри двигуна, зареєстровані датчиками, а вихідними – параметри, що визначають його стан з можливістю самонавчання і корекції своїх параметрів у процесі експлуатації конкретної одиниці;

– створення навчальної вибірки для нейронної мережі на основі статистичної інформації про функціональні параметри двигуна на всіх режимах роботи і найбільш ймовірних відмовах з досвіду експлуатації (для вже експлуатованих двигунів) або за результатами стендових випробувань (для тих двигунів, що розробляються або модернізуються);

– навчання нейронної мережі з використанням навчальної вибірки;

– перевірку адекватності та коректності створеної й навченої нейронної мережі шляхом моделювання режимів роботи і відмов двигунів, що не увійшли до навчальної вибірки;

– апаратну реалізацію розробленої нейронної мережі в електронних

мікросхемах, інтегрованих у систему автоматичного управління двигуна.

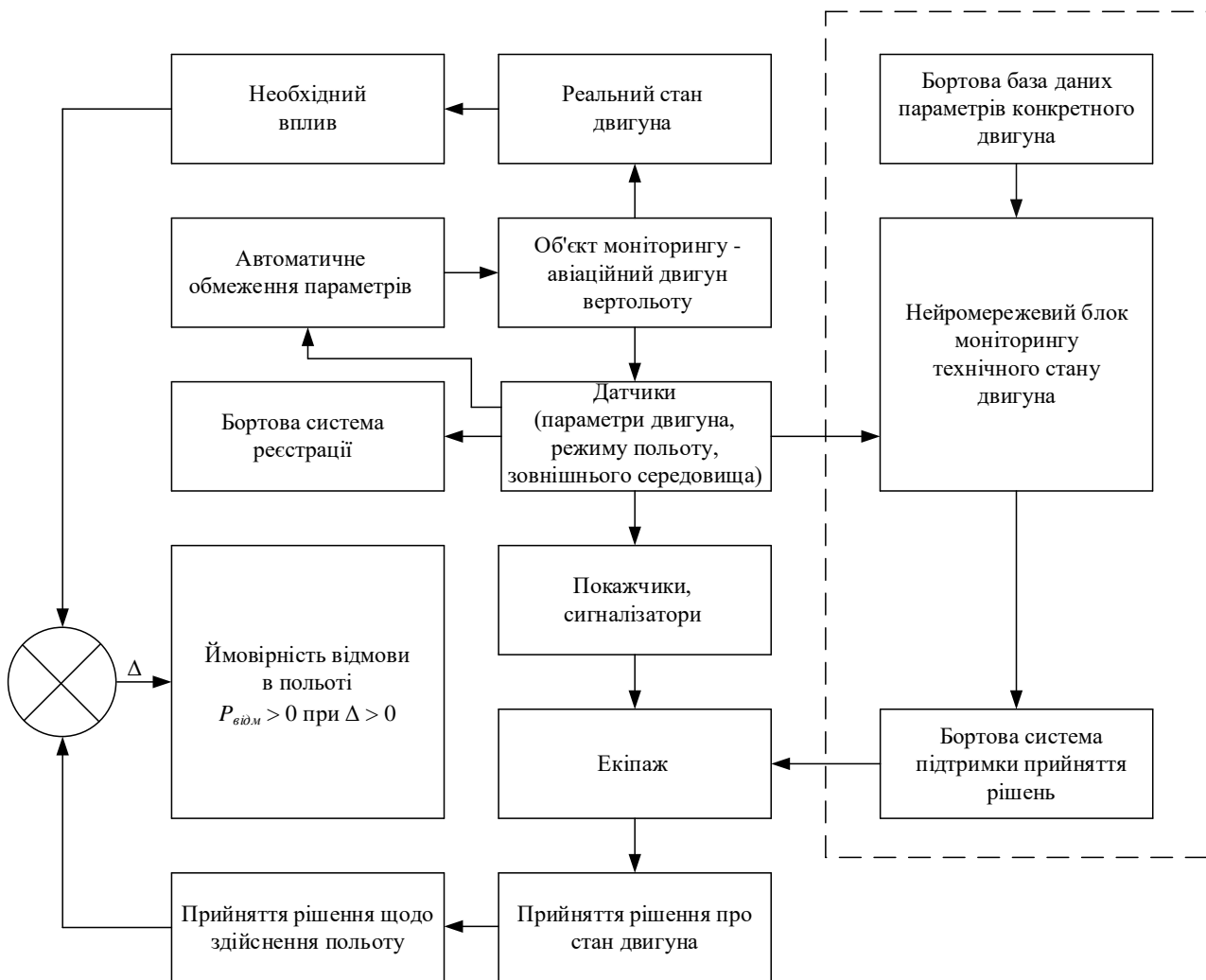


Рисунок 3.2 – Структурно-логічна схема системи моніторингу технічного стану авіаційних двигунів вертольотів (на прикладі авіаційного двигуна ТВ3-117) у польотних режимах

Математична модель авіаційного двигуна вертольоту як об'єкта управління повинна задовольняти низці суперечливих вимог: вона повинна адекватно відображати взаємозв'язки між параметрами і досліджуваними термогазодинамічними процесами; забезпечувати задану точність обчислень параметрів; бути зручною для використання при розрахунках і моделюванні; бути адаптованою (навченою) до індивідуального екземпляру двигуна; мати

мінімальну (або обмежену) алгоритмічну складність.

Для розв'язку задач моніторингу технічного стану авіаційного двигуна вертольоту у польотних режимах необхідна спрощена динамічна модель двигуна. Традиційно для цих цілей використовуються математичні моделі авіаційних двигунів, представлені у вигляді передавальних функцій, лінійних диференціальних рівнянь (з постійними або змінними коефіцієнтами), нелінійних диференціальних рівнянь.

На практиці, зазвичай, застосовується набір математичних моделей різної складності, кожна з яких відповідає частині зазначених вимог і має різні сфери застосування:

- нелінійні поелементні динамічні моделі авіаційних двигунів, що є найбільш точними і складними, застосовуються для розв'язку дослідницьких задач, розрахунку та оптимізації характеристик системи автоматичного управління;

- спрощені нелінійні динамічні моделі, у тому числі регресивні моделі;
- лінійні динамічні моделі зі змінними коефіцієнтами;
- лінійні динамічні моделі на основі алгоритмів інтерполяції;
- лінійні динамічні моделі для заданих режимів функціонування двигуна, що є найбільш простими і застосовуються для розв'язку задач синтезу системи автоматичного управління.

Якщо відома нелінійна поелементна математична модель авіаційного двигуна вертольоту як об'єкта управління, то для спрощення такої моделі частіш за все вхідні нелінійні функції подають у вигляді суми визначеного числа членів ступеневого ряду, що й визначає точність моделі. При цьому нелінійні функції, що входять у рівняння моделі, вважаються диференційованими.

Якщо модель двигуна задана у вигляді множини кусково-лінійних моделей, що описують поведінку двигуна на деякій множині базових (розрахункових) режимів роботи, то, як правило, для «зшивання» цих моделей

використовується процедура поліноміальної апроксимації характеристик або процедура інтерполяції [61].

На даний час у низці робіт, пов'язаних з розробкою систем автоматичного управління авіаційними двигунами, починає використовуватися підхід, що ґрунтується на використанні нейромережових моделей двигунів.

Загальна ідея даного підходу полягає у представленні моделі авіаційного двигуна вертольоту у вигляді «сірого» ящика за допомогою нейронної мережі, що має відому структуру зі значним числом параметрів і коефіцієнтів – ваг синаптичних зв'язків.

За необхідності, структура нейронної мережі може змінюватися, що дозволяє вести мову про можливість її самонавчання зі зміною структури і параметрів синаптичних зв'язків.

Застосування нейронних при розробці моделей авіаційних двигунів вертольотів має низку незаперечних переваг, оскільки [62]:

– класичні методи апроксимації функцій декількох змінних не дозволяють реалізувати прості механізми вибору структури математичних моделей, у той час як розробка нейромережових моделей базується на використанні стандартних процедур вибору структури нейронної мережі і методів їх навчання;

– реалізація класичних методів інтерполяції на основі сплайн-функцій вимагає значних обчислювальних ресурсів, при цьому забезпечення обчислень у реальному масштабі часу, як правило, проблематично. Багатошарова організація нейронних мереж дозволяє виконувати паралельні обчислення (при апаратній реалізації нейронної мережі), що забезпечує розв'язок задачі апроксимації в реальному масштабі часу;

– за допомогою нейронної мережі досить просто будуються інверсні моделі авіаційних двигунів вертольотів, які використовуються в компенсуючих регуляторах.

На рис. 3.3 наведена узагальнена структурна схема процесу настройки

параметрів нейромережевої моделі авіаційного двигуна вертольоту.

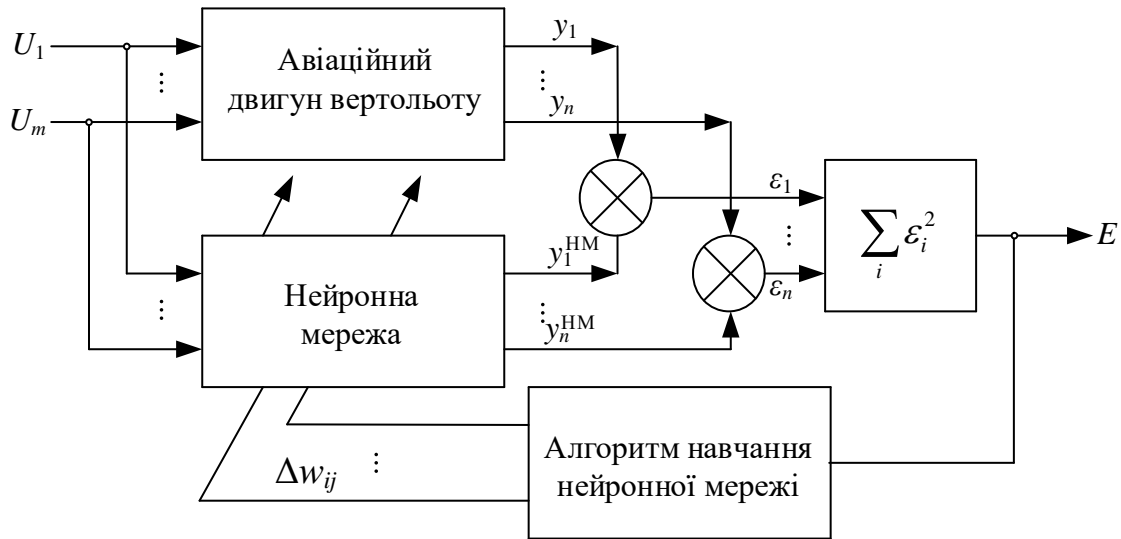


Рисунок 3.3 – Схема навчання нейромережевої моделі авіаційного двигуна вертольоту: $\mathbf{U} = (u_1, u_2, \dots, u_m)^T$ – вектор вхідних (керуючих) впливів; $\mathbf{Y} = (y_1, y_2, \dots, y_m)^T$ – вектор вихідних параметрів двигуна; $\mathbf{Y}^{HM} = (y_1^{HM}, y_2^{HM}, \dots, y_n^{HM})^T$ – вектор виходів нейронної мережі; ΔW_{ij} – приріст ваг синаптичних зв'язків нейронної мережі

Перетворення вектору управляючих впливів на вектор вихідних параметрів описується оператором F (який в загальному випадку може описувати статичну або динамічну модель):

$$\mathbf{Y} = F(\mathbf{U}). \quad (3.50)$$

Задача ідентифікації авіаційного двигуна ТВ3-117 за допомогою нейронної мережі може бути сформульована наступним чином. За підсумками пропонованих нейронної мережі в процесі навчання множини векторів $(\mathbf{U}_i; \mathbf{Y}_i)$, що утворюють «навчальну вибірку» і отриманих експериментальним шляхом для індивідуального екземпляра двигуна, необхідно відшукати оператор F^{HM} в класі нейромережевих архітектур, який найкращим чином представляв би

(апроксимував) оператор F .

Апроксимація оператора F оператором F^{HM} може вважатися найкращою, якщо деякий функціонал від різниці $(Y - Y^{HM})$ не перевищує заданої досить малої величини $\varepsilon_{\text{доп}}$, що визначає точність апроксимації оператора F :

$$E = \|\mathbf{Y} - \mathbf{Y}^{HM}\| = \sum_i^n \varepsilon_i^2 \leq \varepsilon_{\text{доп}}; \quad (3.51)$$

Виконання умови (3.51) забезпечується шляхом навчання нейронної мережі, тобто настройки її параметрів на навчальній вибірці $\{(U, Y)\}$ і перевіряється на спеціальним чином організованій «тестовій вибірці».

Безпосередня побудова нейронної мережі передбачає виконання такої послідовності дій [63]:

Крок 1. Визначення цілей і завдань забезпечення відмовостійкості системи автоматичного управління авіаційним двигуном вертольоту.

Крок 2. Вибір структури і місця включення нейронної мережі.

Крок 3. Вибір алгоритму навчання нейронної мережі.

Крок 4. Формування на основі експериментів (на цифровій моделі з використанням результатів польотних даних) навчальної вибірки.

Крок 5. Навчання нейронної мережі.

Крок 6. Контрастування нейронної мережі (тобто її редукція, спрощення).

Крок 7. Моделювання і налагодження (тестування) алгоритмів управління та контролю системи автоматичного управління з нейронною мережею.

Крок 8. Програмна або апаратна реалізація нейронної мережі.

Віртуальні зміни стану авіаційного двигуна вертольоту можуть бути умовно класифіковані в такий спосіб [64]:

1. Детерміновані, апріорно відомі зміни під впливом контрольованих чинників (умови польоту, напрацювання по ресурсу, величини відборів повітря тощо).

2. Стохастичні зміни, зумовлені, наприклад, різним початковим тепловим станом роторів і статорів, зміни радіальних зазорів тощо), неконтрольованими

відборами повітря і потужності тощо.

3. Випадкові зміни, викликані неконтрольованою зміною конфігурації двигуна (пошкодження лопаток турбокомпресора, забруднення проточної частини двигуна, зміна характеристик вентилятора при сильному бічному вітрі тощо).

Відповідно, виділимо три види поправок для адаптації моделі до можливої зміни технічного стану авіаційного двигуна вертольоту і умовно позначимо їх як детерміновані, стохастичні і випадкові.

Детерміновані поправки. У моделі передбачена поправка статичної характеристики на погіршення ККД вузлів двигуна з напрацюванням щодо ресурсу в польотних циклах. Відповідна зміна параметрів (у відсотках) визначається за допомогою коефіцієнтів впливу ККД на параметри двигуна залежно від режиму роботи з подальшим лінійним підсумовуванням.

Зі зміною швидкості польоту (числа Маха, M) необхідно вводити поправку до статичної характеристики. При $M > 0$ температура газу за турбіною компресора стає нижче температури газу при $M = 0$, а частота обертання ротора турбокомпресора вище частоти обертання при $M = 0$ за рахунок збільшення перепаду тиску на турбіні зі збільшенням швидкості польоту.

Відбір повітря з будь-якого сигналу враховується в моделі у вигляді залежності відсотка відбору від тиску повітря за компресором. Відповідно, корекція параметрів статичної характеристики авіаційного двигуна вертольоту при нормальному відборі проводиться множенням величини відбору повітря (%) на відповідний коефіцієнт впливу.

У зв'язку з тим, що при експлуатації вертольоту в його системі, окрім нормального відбору в систему кондиціонування можливі різні поєднання відборів, польотних умов і режимів роботи двигуна апріорна задача корекції моделі важко. Як наслідок, урахування в цих варіантах відбору проводиться в поправці на стан двигуна за допомогою діагностичної матриці.

Стохастичні поправки. У зв'язку з тим, що авіаційний двигун вертольоту

є стохастичною системою, описувану простором станів великої розмірності з передісторією, не має змоги апріорно описати всі його поточні стани.

Отже, для моніторингу його стану в моделі використана діагностична матриця розмірністю (обмеженою числом вимірювальних каналів) 4×4 . Передбачається, що більшість станів, відмінних від базової характеристики двигуна з урахуванням поправок, відображається у відхиленнях ККД турбіни компресора, витоків повітря у зовнішній контур і величин відборів повітря. Діагностична матриця отримується в результаті розв'язання системи чотирьох лінійних рівнянь.

Вхідними параметрами системи є приведена витрата палива і відхилення вимірних середніх значень параметрів у справних керуючому і резервному каналах від еталонних (базових) з урахуванням поправок.

Після інтерполяції коефіцієнтів впливу залежно від режиму дані використовуються в системі нормальних лінійних рівнянь, що має вигляд:

$$\left\{ \begin{aligned} & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{\delta f_{ij}}{\delta x_1} \frac{\delta f_{ij}}{\delta x_1} \right) \delta x_1 + \dots + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{\delta f_{ij}}{\delta x_1} \frac{\delta f_{ij}}{\delta x_k} \right) \delta x_k = \\ & = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{\delta f_{ij}}{\delta x_1} \right) \delta P_{ij}, \\ & \dots \\ & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{\delta f_{ij}}{\delta x_k} \frac{\delta f_{ij}}{\delta x_1} \right) \delta x_1 + \dots + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{\delta f_{ij}}{\delta x_k} \frac{\delta f_{ij}}{\delta x_k} \right) \delta x_k = \\ & = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{\delta f_{ij}}{\delta x_k} \right) \delta P_{ij}, \end{aligned} \right. \quad (3.52)$$

де $\frac{\delta f_{ij}}{\delta x_k}$ – коефіцієнти впливу, визначені чисельним експериментом на повузловій нелінійній моделі двигуна; δx_k ($k = 4$) – шукані відхилення невимірюваних параметрів (ККД турбокомпресора, ККД турбіни компресору, площа вихідного пристрою, приведена витрата газів до умов на вході в турбіну); δP_i ($i = 5$) – відносні відхилення вимірюваних параметрів

(температура повітря за компресором, тиск повітря за компресором, витрата палива, тиск газів за турбіною тощо) від базової характеристики двигуна з урахуванням поправок.

Оскільки вимірювані величини мають статистичний розкид, то при обчисленні згаданих відхилень необхідно використовувати їх осереднене значення шляхом здійснення кількох вимірів j (5...10) або пропусканням через оптимізований фільтр ковзного середнього.

Після визначення відхилень невимірюваних параметрів необхідно провести порівняння з обмежувачами (лімітерами) на відхилення. У разі, якщо розрахункові відхилення перевищують лімітери, при обчисленні поправок приймаються їх лімітовані значення. Для ККД турбокомпресора обмеження складає $\pm 5 \%$, для відборів і витоків – 0...10 %.

Випадкові поправки. Для корекції випадкових похибок моделі в межах певного діапазону передбачається робота інтегратора на сталому режимі, що «підтягує» модельні значення параметрів до середніх вимірних значень справних керуючого і резервного каналів. Це забезпечує стійку ідентифікацію відмов каналу за допомогою моделі і, в разі відмови каналів плавний перехід на управління за модельними значеннями параметрів. При інтегруванні проводиться коригування модельного фізичного значення в сторону зменшення різниці з вимірним значенням:

$$Y' = Y + \int (Y' - Y_{\text{вим}}) dt. \quad (3.53)$$

При цьому виконуються логічні операції обмеження, унаслідок яких величина абсолютної інтегральної поправки не може перевищувати заздалегідь задану величину. Далі інтегральні поправки обчислюються у відносному вигляді для подальшої корекції моделі. Обчислені поправки підсумовуються лінійно зі своїм знаком з базовою характеристикою.

Окрім того, для підвищення надійності і точності моделі використовується фільтрація Калмана вхідних і вихідних параметрів моделі. Необхідність у використанні додаткових пристроїв ідентифікації обумовлена

дією зовнішніх і внутрішніх перешкод (в тому числі відмов) як в каналі вбудованої моделі (обумовлених помилкою моделювання), так і в каналі вимірювання (обумовлених похибкою датчиків і відмовами вузлів двигуна). Можливість застосування фільтрів Калмана зумовлена нормальністю розподілу випадкових величин і ергодичності випадкових процесів у каналах LABEM, доведеними на основі статистичної обробки даних випробувань двигуна [65, 66].

Вхідна одновимірна фільтрація ведеться по ходу дозувальної голки (ДГ). Для реалізації алгоритму фільтрації Калмана в блок фільтрації вхідних параметрів вбудовується математична модель ДГ, що виробляє сигнал модельного (прогнозованого) значення ходу поршня ДГ. Алгоритми фільтрації Калмана будуються на порівнянні виміряних $Z_{ДГ}$ і модельних $X_{ДГ}$ значень ходу дозуючої голки з метою визначення в поточний момент оптимального коефіцієнта Калмана (K) на основі розв'язання задачі мінімізації математичного очікування квадрата помилки $\min M(e^2)$ оптимальної оцінки ходу дозувальної голки $-e = X_{ДГ} - X_{ДГ}^{opt}$ [67]. При цьому оптимальна оцінка ходу дозувальної голки обчислюється за допомогою рекурентного співвідношення

$$X_{ДГ_{k+1}}^{opt} = K_{k+1} Z_{ДГ_{k+1}} + (1 - K_{k+1}) (X_{ДГ_k}^{opt} + \Delta X_{ДГ_k}). \quad (3.54)$$

Результати досліджень вхідний фільтрації Калмана сигналу положення поршня ДГ [68], що визначає витрата палива на вході в LABEM, наведені на рис. 3.4.

Отримана оптимальна оцінка положення поршня ДГ потрапляє на вхід моделі регулятора перепаду тиску (диференціального клапана), виходом якої є витрата палива, що подається на вхід LABEM.

За подібним принципом будується багатовимірна фільтрація Калмана вихідних параметрів лінійної адаптивної бортовий моделі двигуна. На виході LABEM підключається багатовимірний фільтр Калмана [68], який визначає оптимальні оцінки вихідних параметрів: швидкості турбін компресора (v_{TK}),

температури газів за турбіною компресора (T_{TK}^*), тиску газів перед турбіною компресора (P_{TK}^*) за допомогою матричного рівняння:

$$\mathbf{X}_k^{opt} = (1 - K_k) \mathbf{X}_k + K_k \mathbf{Z}_k, \quad (3.55)$$

де на k -у кроці $\mathbf{X}_k = \{v_3, T_3, P_3\}$ – вектор-стовпець прогнозованих модельних значень координат виходу ЛАВЕМ; \mathbf{X}_k^{opt} – вектор-стовпець оптимальних оцінок цих координат; \mathbf{Z}_k – вектор-стовпець їх вимірювань датчиків; \mathbf{K}_k – матриця коефіцієнтів Калмана для вихідних координат.

Точність алгоритмів одновимірної і багатовимірної фільтрації Калмана залежить від коректності завдання з усіх, які можуть бути ідентифіковані параметрам дисперсій моделей і датчиків. Вибір значень дисперсій ведеться на основі статистичної обробки великих масивів даних стендових і льотних випробувань двигунів.

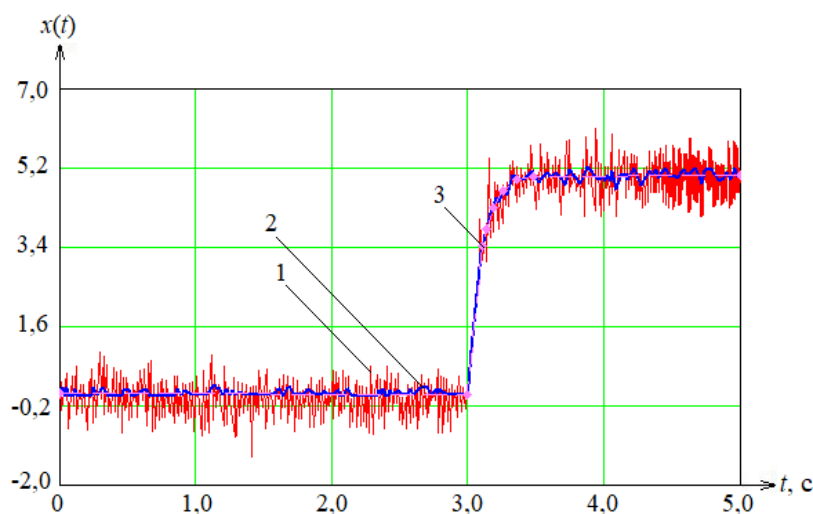


Рисунок 3.4 – Результати фільтрації сигналів в контурі дозувальної голки: 1 – сигнали датчиків; 2 – вихід фільтра Калмана; 3 – модельне значення

Слід зазначити, що вирішення завдання фільтрації Калмана є задачею ідентифікації, а не згладжування. Фільтр Калмана не розрахований на згладжування одержуваних з датчиків даних, а націлений на визначення

найбільш ймовірного значення вимірюваного з їх допомогою реального параметра – його оптимальної оцінки, отриманої з урахуванням «зашумленого» модельного (прогнозованого) значення і вимірювання датчика.

За результатами проведених досліджень визначено, що оцінка похибки справжньої моделі, отримана за допомогою порівняння результатів моделювання на повузловій нелінійній моделі, дала такі результати для основних режимів експлуатації двигуна (зліт, набір висоти, крейсерський політ): по частоті обертання турбокомпресора – 1,25 %, по тиску повітря за компресором – 3,5 %, по температурі газу перед турбіною компресора – 2,2 %. Як і слід було очікувати, похибка моделі збільшується зі зменшенням режиму через не лінійність характеристик, досягаючи дворазової величини на мінімальному режимі (малого газу). З огляду на те, що основні режими роботи складають 90 % часу експлуатації, отримані величини похибки моделі є прийнятними.

3.5 Оптимізація параметрів робочого процесу авіаційних двигунів вертольотів у польотних режимах на основі методу багатокритеріальної оптимізації

Авіаційні двигуни вертольотів – газотурбінні двигуни (ГТД) з вільною турбіною, є підсистемою більш складної системи літального апарату. Робочий процес турбовальних ГТД з вільною турбіною визначається декількома десятками параметрів. Хоча цей комплекс досить великий, вибір значної частини параметрів з нього (σ_{ex} , σ_c , η_t^* , η_k^* , a_c тощо) для розрахункового режиму здійснюється у настільки вузьких межах, що оцінка їх найбільш ймовірних значень в умовах рухових ОКБ зазвичай не є особливими труднощами. Значення таких параметрів, необхідних для розрахунку не оптимізуються, а прогнозуються [69]. Тому для оптимізації відбирають лише ті параметри робочого процесу, які визначають замкнену систему рівнянь терм

газодинамічного розрахунку двигуна і можуть змінюватися у широкому діапазоні значень.

Кількість оптимізованих параметрів залежить, перш за все, від типу ГТД. У робочому процесі ГТД вертольотів з вільною турбіною, як відомо, задача розподілу вільної енергії між гвинтом і соплом не є актуальною, тому тут мова йде про оптимізацію або тільки одного параметра – π_K^* (у разі обраного рівня T_G^* при досягнутому конструктивна-технологічному рівні «гарячої» частини двигуна), або двох параметрів робочого процесу – T_G^* і π_K^* , якщо задається температура деталей турбіни для отримання найвигідніших (раціональних) показників підсистеми.

Застосовувані в сучасній практиці розрахунки, що ґрунтуються на методі скінченних елементів (МСЕ), вимагають значних витрат машинного часу. Згідно з експериментальними результатами, для розрахунку авіаційного ГТД з вільною турбіною (наприклад, ТВ3-117) на I крейсерському режимі (при постійній частоті обертання ротора) слід дотримуватися 4.6×10^{17} операцій з плаваючою крапкою. На суперкомп'ютері продуктивністю 0,6 Тфлопс даний розрахунок може бути виконаний за 14 днів за умови відсутності втрат при розпаралелюванні задач. При багатокритеріальній оптимізації такі обчислення необхідно повторити 1000 і більше разів. Таким чином, вельми актуальним є використання наближених моделей оптимізованих конструкцій, що дозволяють значно скоротити необхідні обсяги обчислень.

Оскільки залежності критеріїв оцінювання ефективності від параметрів робочого процесу мають вигляд близький до квадратичного [70], в якості апроксимуючої поверхні доцільно обрати модель другого порядку, що є еліптичним параболоїдом. Для розв'язання поставленої задачі апроксимації доцільним є обрання методу найменших квадратів (МНК) [71], що обумовлено простотою його реалізації і достовірністю наближення функцій. Можливе застосування робастних методів оцінювання результатів розрахункового

експерименту, що дозволяють знизити кількість грубих помилок експерименту. Модельована за МНК регресійна модель має вигляд [72]:

$$y = ax_1^2 + bx_2^2 + cx_1x_2 + dx_1 + ex_2 + j; \quad (3.56)$$

де x_1 – незалежна змінна, що відповідає рівню підвищення тиску в компресорі π_K^* ; x_2 – незалежна змінна, що відповідає температурі газу перед турбіною компресора T_G^* ; a, b, c, d, e, f – коефіцієнти моделі, що визначаються за допомогою МНК.

Знаходячи частинні похідні від функції y , визначають її мінімум (максимум) і відповідні їй величини x_1 і x_2 відповідно до наступної системи рівнянь:

$$\begin{cases} y'_{x_1} = 2ax_1 + cx_2 + d = 0 \\ y'_{x_2} = 2bx_2 + cx_1 + e = 0 \end{cases} \quad (3.57)$$

Після визначення частинних похідних за рівняннями функцій можна знайти значення незалежних змінних, в яких функції мають мінімум (максимум), а потім обчислити мінімальне (максимальне) значення функції, що буде оптимумом для цієї функції. Для оптимізації однопараметричних задач такий підхід дозволяє використовувати функції $y = f(T_G^*)$ або $y = f(\pi_K^*)$ (рис. 3.5).

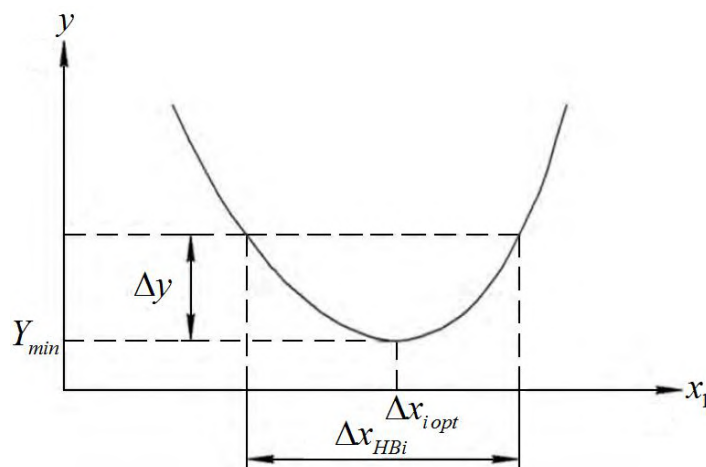


Рисунок 3.5 – Схема утворення діапазону найвигідніших параметрів для однопараметричних задач

На рис. 3.6 показано утворення області раціональних значень параметрів для двопараметричної даної задачі.

Спільне рішення рівняння цільової функції і площини, віддаленої від екстремумів на величину ΔY дозволяє отримати у проекції на площину $x_1 - x_2$ ($\pi_K^* - T_G^*$) для кожної критеріальної функції Y_i замкнуту лінію близьку до еліпса. Ці лінії фактично є межами областей раціональних значень параметрів робочого процесу.

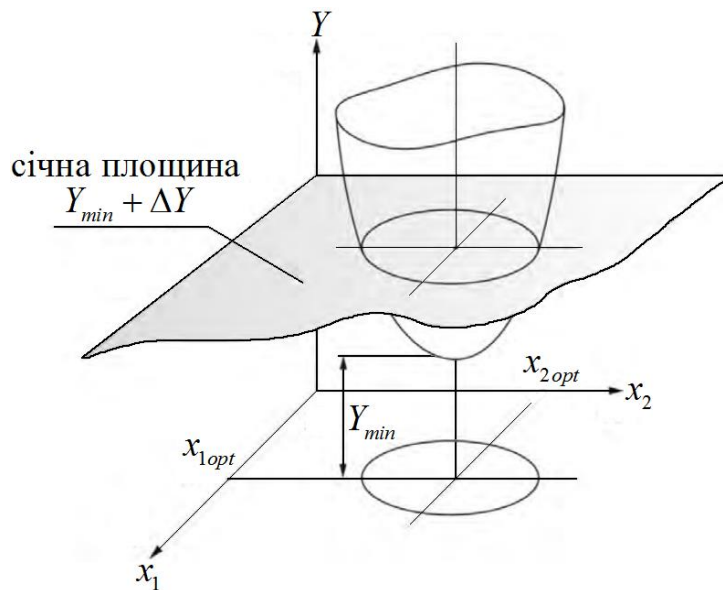


Рисунок 3.6 – Схема отримання області раціональних значень параметрів для двопараметричних задач

Як і в [73], розглянемо в загальному вигляді задачу багатокритеріальної мінімізації з m незалежними змінними, n цілями, p обмеженнями у вигляді нерівностей і q обмеженнями у вигляді рівностей [70]: «мінімізувати $f(x)$ за умови $g(x) > 0$, $h(x) = 0$ », де $x = (x_1 \dots x_m) \in X$ є вектором рішень (незалежних змінних), X – простір параметрів, $f(x)^T = [f_1(x) \dots f_n(x)]$ – цілі, $g(x)^T = [g_1(x) \dots g_p(x)]$ – обмеження у вигляді нерівностей, $h(x)^T = [h_1(x) \dots h_q(x)]$ – обмеження у вигляді рівностей. Вектор рішень $a \in X$ є домінуючим над вектором $b \in X$, тобто $a \prec b$, якщо виконується умова

$$\forall i \in \{1, \dots, n\} : f_i(a) \leq f_i(b) \wedge \exists j \in \{1, \dots, n\} : f_j(a) < f_j(b). \quad (3.58)$$

Вектор a є недомінованим на множині $X' \subseteq X$, якщо в X' немає вектору, що домінує над a . Множина рішень X' , для якої виконується умова:

$$\forall a' \in X' : \neg \exists a \in X : a \prec a' \wedge \|a - a'\| < \varepsilon \wedge \|f(a) - f(a')\| < \delta. \quad (3.59)$$

де $\|\dots\|$ – метрика відстані, при $\varepsilon > 0$, $\delta > 0$ називається локальним Парето-оптимальною множиною. X' є глобальною Парето-оптимальною множиною, якщо $\forall a' \in X' : \neg \exists a \in X : a \prec a'$ [73].

Таким чином, задача багатокритеріальної оптимізації є задача пошуку глобальної Парето-оптимальної множини рішень. На етапі льотної експлуатації авіаційного двигуна вертольоту дана множина надається експерту (командиру екіпажу повітряного судна), який вибирає один із законів регулювання і, як наслідок, подальші варіанти продовження польоту.

Аналіз навіть спрощених методів термогазодинамічних розрахунків авіаційних двигунів, в тому числі, вертольотів, [72] показує, що на визначення робочого процесу і, отже, конструктивного вигляду двигуна впливають більше 30 параметрів (незалежних змінних). При цьому залежності, що пов'язують цільові і незалежні змінні, є нелінійними, і неможливо гарантувати, що вони є диференційованими функціями. На сьогоднішній день відома низка методів багатокритеріальної оптимізації, що спираються на нелінійне програмування [73] та генетичні алгоритми [74–76]. Один з найбільш ефективних алгоритмів багатокритеріальної оптимізації з обмеженнями – генетичний алгоритм NSGA-II [77]. Особливістю даного алгоритму є те, що на кожному кроці обчислень генерується нова популяція з N рішень, для кожного з яких повинні бути обчислені функції $f(x)$, $g(x)$ і $h(x)$. Типовою є популяція з 100 рішень, яка еволюціонує протягом 500 поколінь. Неважко оцінити, що в цьому випадку необхідно 50000 обчислень функцій $f(x)$, $g(x)$ і $h(x)$. Таким чином, виходячи з практичних міркувань для того, щоб скоротити витрати часу до розумних меж, необхідно запропонувати спосіб знаходження Парето-оптимального набору

рішень не більше ніж за 500 обчислень виразів точних моделей досліджуваних залежностей. Для досягнення цієї мети пропонується використовувати підхід, що ґрунтується на використанні замість задачі багатокритеріальної мінімізації їх наближених моделей.

Розглянемо алгоритм обчислень, наведений у [73] (рис. 3.7).

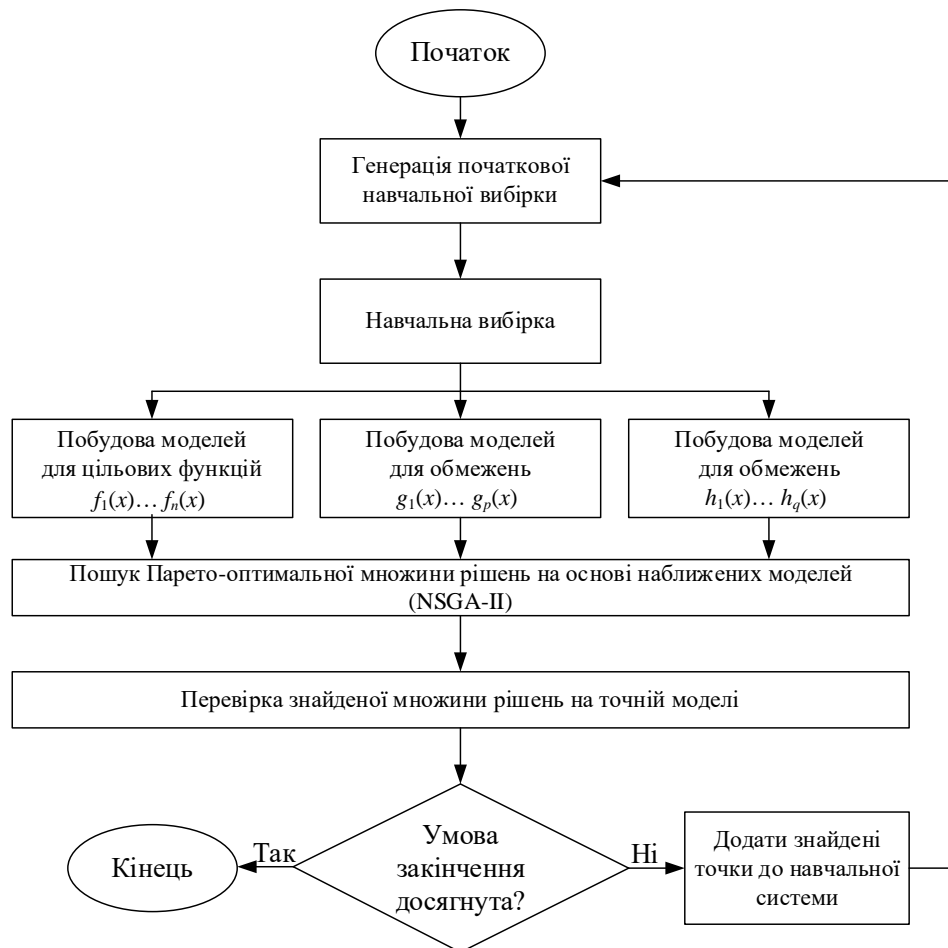


Рисунок 3.7 – Алгоритм методу багатокритеріальної оптимізації

Досліджувані залежності носять міждисциплінарний характер, неможливо гарантувати диференційованість або опуклість цих функцій. Крім того, в умовах експлуатації виробу ніколи не ставиться задача знайти найкращі параметри продукту (тобто глобальну Парето-оптимальну множину), а всі зусилля спрямовані лише на забезпечення виконання заданих технічних вимог. Дуже часто вибирається рішення з менш ефективними параметрами, але

забезпечує велику стійкість до відхилень, які неминуче виникають в процесі виробництва. По-третє, надмірно велика Парето-оптимальна множина вимагає значних витрат часу і ресурсів на аналіз всіх альтернативних рішень, цілком допустимим є наявність 15...20 варіантів параметрів виробу при його експлуатації. Тому у запропонованому методі багатокритеріальної оптимізації використовуються евристичні підходи (еволюційні і генетичні алгоритми).

Описуваний метод (рис. 3.7) складається з наступних кроків.

1. Генерується початкова навчальна вибірка x_s невеликого обсягу $s \in X$ на основі одного з методів планування експерименту, наприклад [78]. Обчислюються вектори значень цільових функцій $f(x_s)$ і обмежень $g(x_s)$ і $h(x_s)$ у всіх отриманих точках.

2. На основі навчальної вибірки x_s і відповідних значень $f(x_s)$, $g(x_s)$ і $h(x_s)$ будуються наближені моделі $f_{набл}(x)$, $g_{набл}(x)$ і $h_{набл}(x)$ всіх досліджуваних залежностей.

3. На основі отриманих наближених моделей $f_{набл}(x)$, $g_{набл}(x)$ і $h_{набл}(x)$ за допомогою алгоритму NSGA-II знаходиться вектор x_{opt} , який визначає Парето-оптимальну множину рішень задачі багатокритеріальної оптимізації.

4. У точках отриманої таким чином множини рішень x_{opt} обчислюються точні значення функцій $f(x_{opt})$, $g(x_{opt})$ і $h(x_{opt})$. Якщо умова закінчення обчислень не виконується, то всі значення, отримані на точних моделях, додаються в навчальну вибірку:

$$\begin{aligned} x_s &= x_s + x_{opt}; \quad f(x_s) = f(x_s) + f(x_{opt}); \\ g(x_s) &= g(x_s) + g(x_{opt}); \quad h(x_s) = h(x_s) + h(x_{opt}). \end{aligned} \tag{3.60}$$

5. Здійснюється повернення до кроку 2, на якому знову будуються наближені моделі.

6. Визначаються наступні умови закінчення обчислень:

– сумарна відносна похибка e побудованих моделей досягає заданого мінімуму:

$$e = \frac{1}{k \cdot (n + p + q)} \cdot \sum_{j=1}^{n+p+q} \sqrt{\sum_{i=1}^k \left(\frac{M_{ij}(x) - F_{ij}(x)}{F_{ij}(x)} \right)^2} \leq \varepsilon. \quad (3.61)$$

де k – кількість рішень в знайденому Парето-оптимальній множині; $M_{ij}(x)$ – значення однієї з функцій $f(x)$, $g(x)$ або $h(x)$, знайдене на основі її наближеною моделі; $F_{ij}(x)$ – значення тієї ж функції, знайдене на основі точної моделі, і ε – досить мале позитивне число. Виконання даної умови означає, що якість побудованих наближених моделей таке, що дозволяє їх використовувати замість точних;

– знаходження одного або декількох векторів $f(x)$, що задовольняють заздалегідь визначеним вимогам $f(x) \leq f_{goal}$ при дотриманні обмежень $g(x) > 0$ і $h(x) = 0$, де f_{goal} – задані експертом значення цільових функцій, достатні для забезпечення необхідних характеристик експлуатованого виробу;

- перевищення допустимої кількості точних обчислень моделей;
- перевищення допустимого часу обчислень.

Ключовим питанням успіху запропонованого алгоритму є вибір ефективного способу побудови наближеної моделі або моделі поверхні відгуку (RSM). Зокрема, для побудови наближених функціональних залежностей використовується метод групового урахування аргументів [79, 80], багатосарові перцептрони та інші моделі. У цій роботі розглядається використання багатокритеріальної задачі оптимізації для моделювання типу «мінімізувати $f(x)$ за умови $g(x) > 0$, $h(x) = 0$ » за допомогою штучних нейронних мереж з радіальним базисом (RBF-мережі), отримані за допомогою еволюційних алгоритмів [81].

Відомо кілька таких методів, зокрема, досить загальний їх опис наведено у [82]. Недоліком цього методу є надмірність в описі мережі (вводяться окремі матриці для опису ваг, зв'язків та вектор для опису нейронів). Спрощений варіант такого способу опису мережі розглянуто у [83]. Відповідно до цього методу об'єктом еволюції є популяція нейронних мереж. Крім того, відомі

роботи [84], що обмежуються розглядом лише нейронних мереж RBF, що дозволяє переходити до розгляду еволюції популяції нейронів, які потім об'єднуються в мережу. Однак останній алгоритм застосовний лише для генеруючих мереж для класифікації зображень, оскільки передбачає знання центрів класів досліджуваних об'єктів.

Основною особливістю методу еволюційних алгоритмів [85], що відрізняє його від аналогічного методу генетичних алгоритмів, є відмова від використання кросоверної операції. У [86] на основі аналізу багатьох джерел було зроблено висновок, що для проблеми генерування нейронних мереж еволюційні алгоритми є більш ефективним методом, оскільки операція кросовера часто призводить до погіршення придатності нащадків.

Для вирішення цієї проблеми була створена нейронна мережа з функціями активації радіального базису [87] (рис. 3.8) з допустимою середньоквадратичною помилкою $E(\omega) = 0,3$ та параметром впливу, рівним 1, значення якого чим більше, тим більший діапазон вхідних значень необхідно враховувати.

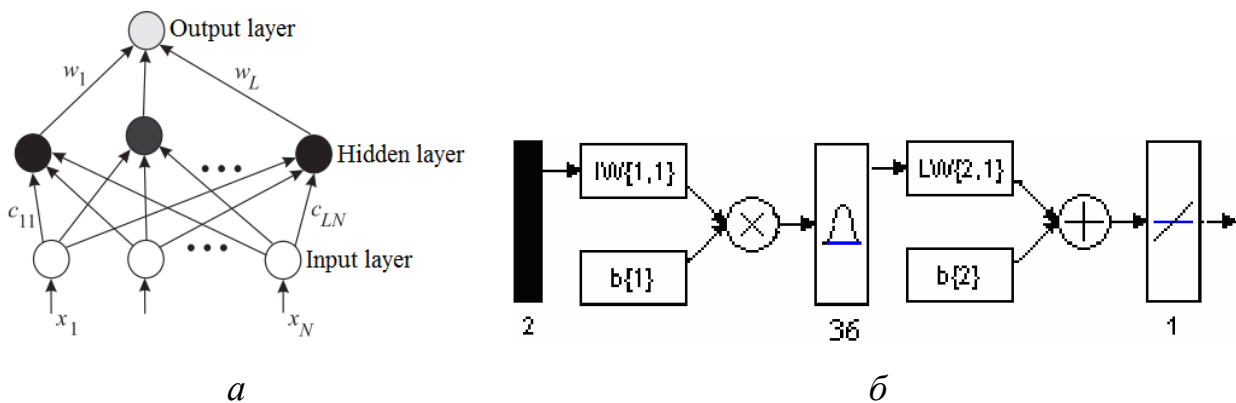


Рисунок 3.8 – Нейронна мережа радіального базису (RBF-мережа):

a – загальний вигляд; *б* – архітектура мережі

Для навчання нейронної мережі RBF використовується градієнтний алгоритм, що ґрунтується на мінімізації цільової функції помилки мережі.

Відповідно до цього алгоритму для кожного елемента обчислюються величини змін вагового коефіцієнта, ширини елемента та координат центру елемента.

У результаті проведених експериментів було виявлено деякі недоліки класичного градієнтного алгоритму навчання нейронної мережі RBF:

1. В алгоритмі навчання нейронної мережі RBF немає правил для початкового завдання кількості елементів мережі та їх параметрів, а також немає правил зміни кількості елементів у процесі навчання. Рівномірне розподілення елементів у робочій області не завжди є оптимальним. Також може виникнути ситуація, коли кількість елементів, задана спочатку, є недостатньою для досягнення необхідної якості навчання.

2. У процесі навчання змінюються параметри всіх елементів мережі. У результаті зі збільшенням кількості елементів обчислювальні витрати на навчання також збільшуються.

3. Нейронна мережа RBF не може досягти сталого стану у процесі навчання у випадках, коли існують елементи з близькими значеннями координат центрів та ширини радіальної функції елементів мережі. Поява таких ситуацій багато в чому залежить від обраної кількості елементів та їх початкових параметрів. Причина погіршення якості навчання у тому, що у градієнтному алгоритмі передбачається, що у вихідне значення нейронної мережі RBF у кожній точці робочої області переважно впливає лише один елемент. За наявності кількох елементів в одній ділянці робочої області зміна їх параметрів відповідно до градієнтного алгоритму не завжди призводить до зменшення помилки навчання.

З метою виключення недоліків класичного градієнтного алгоритму навчання нейронної мережі RBF у роботі пропонується еволюційний алгоритм побудови нейронної мережі RBF.

В якості вхідних елементів було взято час, а в якості вихідних – рівні часового ряду y' . Функції пакета NNT для створення нейронної мережі RBF: `net = newrb (t; y'; 0.3; 1)` – створення радіальної базової нейронної мережі з

навчанням; $yn' = \text{sim}(\text{net}, t)$ – симуляція мережі.

Функція активації нейрона прихованого шару має вигляд:

$$y_i = \varphi(\|x - c_i\|) = e^{-\frac{\|x - c_i\|}{2\sigma_i^2}}; \quad (3.62)$$

де $\|x - c_i\| = \sqrt{\sum_{j=1}^N (x_j - c_{ij})^2}$ – евклідова відстань між вектором вхідних сигналів

$x = (x_1 \dots x_n)$ і центром i -го нейрона $c_i = (c_{i1} \dots c_{iN})$, $i = 1 \dots L$; L – число нейронів в прихованому шарі; N – число нейронів у вхідному шарі; c_i , σ_i – параметри радіальної базисної функції i -го нейрона. Сигнал нейрона вихідного шару визначається зваженим підсумовуванням виходів нейронів прихованого шару

$f_k = \sum_{i=1}^L w_i \cdot y_i$, де w_i – вага зв'язку від i -го нейрона прихованого шару до нейрона

вихідного шару. Введемо позначення: $\mathbf{z} = (z_1 \dots z_p)^T$ – вектор очікуваних значень функції (p – кількість навчальних вибірок), $\mathbf{w} = (w_1 \dots w_L)^T$ – вектор ваг, \mathbf{G} – радіальна матриця, яка має вигляд

$$\mathbf{G} = \begin{pmatrix} \varphi\|x_1 - c_1\| & \varphi\|x_1 - c_2\| & \dots & \varphi\|x_1 - c_L\| \\ \varphi\|x_2 - c_1\| & \varphi\|x_2 - c_2\| & \dots & \varphi\|x_2 - c_L\| \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \varphi\|x_p - c_1\| & \varphi\|x_p - c_2\| & \dots & \varphi\|x_p - c_L\| \end{pmatrix}; \quad (3.62)$$

Тоді вектор ваг може бути знайдений за формулою:

$$\mathbf{w} = \mathbf{G}^+ \cdot \mathbf{z}; \quad (3.63)$$

де $\mathbf{G}^+ = (\mathbf{G}^T \mathbf{G}^{-1}) \mathbf{G}^T$ – псевдоінверсія прямокутної матриці \mathbf{G} .

Отже, i -й нейрон прихованого шару повністю може бути описаний рядком з $(N + 2)$ дійсних чисел, яка містить вектор $c_i = (c_{i1} \dots c_{iN})$, величину σ_i і значення w_i . Отже, для опису всієї мережі цілком необхідна матриця R розміром $L \times (N + 2)$. Однак, оскільки у даному методі [73] використовується самоадаптивний спосіб настройки ваг, до опису нейрона необхідно додати матрицю η такого ж розміру, що містить варіації (стратегічні параметри еволюційного алгоритму).

В результаті моделювання нейронної мережі RBF на реальних даних була отримана апроксимуюча функція (рис. 3.9, *a*). На рис. 3.9, *б* наведено графік відповідної похибки (відхилення фактичних даних від розрахункових).

Як видно з рис. 3.9, *б* нейронна мережа RBF успішно відновлює залежність π_K і T_G , при цьому похибка апроксимації не перевищує 0,021 %. Згідно з рис. 3.9, *a* коефіцієнт кореляції Кендалла між параметрами π_K і T_G дорівнює $r_{xy} = 0,946$, що свідчить про сильної кореляції між параметрами π_K і T_G , а помилка апроксимації становить 1,635 % (не перевищує граничних допустимих 10 %). Таким чином, модельні регресорів π_K і T_G були обрані правильно.

Еволюційний алгоритм побудови нейронної мережі радіального базису наведено на рис. 3.10.

У початковій популяції всі параметри в описі мережі започатковано випадковими значеннями з інтервалу (1,0; 1,0). Проводиться обчислення пристосованості всіх особин популяції за формулою:

$$e_m = \frac{1}{T} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^T (Y(t) - Z(t))^2}; \quad (3.64)$$

де T – кількість зразків у навчальній вибірці; $Y(t)$ і $Z(t)$ – очікуване і фактичне значення на виході мережі. Механізм відбору особини ґрунтується на її ранзі. Нехай K особин відсортовані за спаданням функції (4.62) і їм присвоєні номери $0, 1, \dots, (K - 1)$. Тоді особина з номером $(K - j)$ може бути відібрана для мутації з

імовірністю $p(K - j) = j \cdot \left(\sum_{k=1}^K k \right)^{-1}$.

Перед початком мутації випадково вибирається ціле число n з інтервалу (1, L), визначальне номер нейрона, до якого буде застосовуватися операція мутації. До даного нейрона послідовно застосовуються наступні операції мутації.

1. *Модифікація параметрів функції активації.* Використовується гаусівська мутація, згідно з якою нові значення рядка матриці \mathbf{R} для даного

нейрона обчислюються відповідно до виразів:

$$\eta'_{nj} = \eta_{nj} \cdot e^{\tau' \cdot N(0,1) + \tau \cdot N_j(0,1)}; \quad (3.65)$$

$$R'_{nj} = R_{nj} + \eta'_{nj} \cdot N_j(0,1); \quad (3.66)$$

де $N(0, 1)$ – випадкове число, що підкоряється нормальному розподілу з середнім значенням 0 і варіацією 1; $N_j(0, 1)$ означає, що випадкове число

генерується для кожного j -го елемента вектору; $\tau = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \sqrt{N}}}$; $\tau' = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot N}}$.

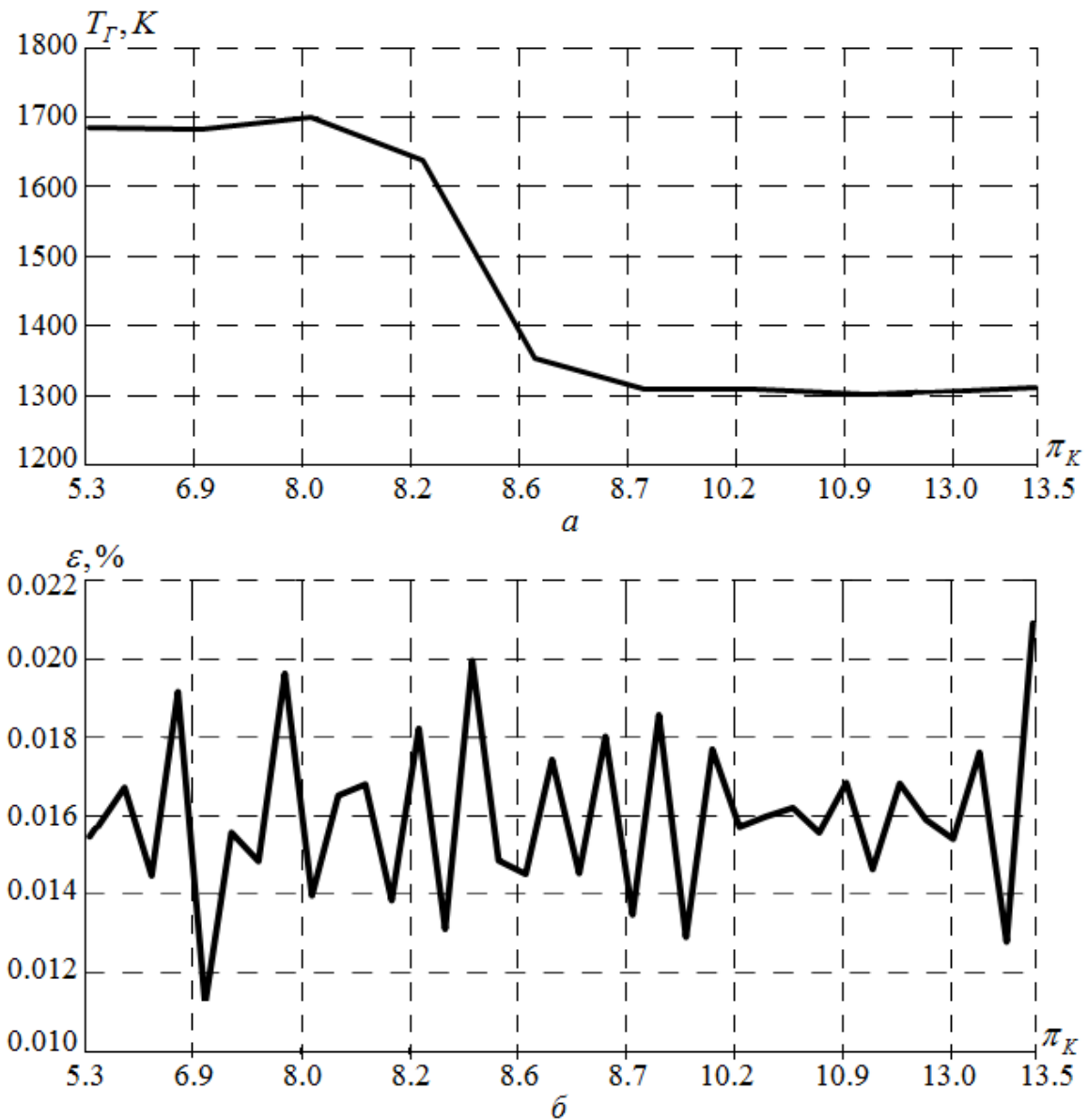


Рисунок 3.9 – Апроксимація даних за допомогою радіальної базисної нейронної мережі: а – графік залежності π_K від $T_{Г}$; б – похибка апроксимації даних RBF

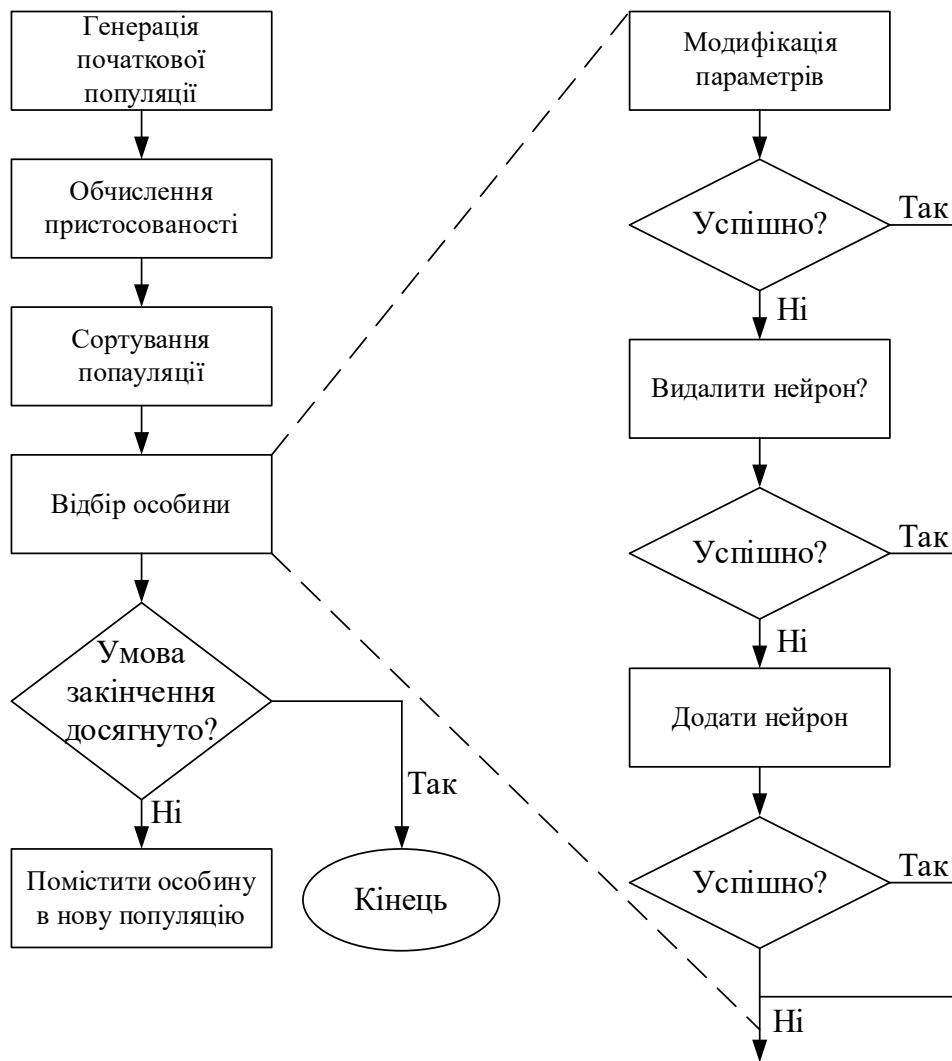


Рисунок 3.10 – Еволюційний алгоритм побудови нейронної мережі радіального базису

Після модифікації параметрів n -го нейрона уточнюються ваги за формулою (3.63) і обчислюється пристосованість отриманої мережі. Якщо вона покращується, отриманий нащадок поміщається в нову популяцію, інші мутації не виробляються. В протилежному випадку рядках R_n і η_n повертаються старі значення і проводиться спроба виконати наступну мутацію.

2. *Видалення нейрона.* Ця операція виконується в разі неуспіху попередньої мутації. Обраний нейрон видаляється, відповідно до виразу (3.63), обчислюються вагові коефіцієнти, оцінюється пристосованість мережі; якщо вона покращується, то отриманий нащадок копіюється в нову популяцію. В

іншому випадку застосовується мутація додавання нейрона.

3. *Додавання нейрона.* Всі параметри додається нейрона ініціалізуються випадковими значеннями з інтервалу $(1,0; 1,0)$, відповідно до виразу (3.63), обчислюються вагові коефіцієнти. У разі поліпшення пристосованості мережі отриманий нащадок копіюється в нову популяцію.

Якщо жодна з мутацій не була успішною, то особина копіюється в популяцію наступного покоління без змін. Відзначимо, що в даному методі використовується так званий «жадібний» алгоритм – спроба видалення нейрона завжди проводиться до спроби його додати. Це забезпечує отримання більш компактних мереж. Крім того, використовується принцип елітизму – найкраща особина поточної популяції копіюється в нову без змін.

Для оцінювання ефективності запропонованого алгоритму розглянемо досліджену в [73] задача апроксимації функції:

$$d(x, y) = 3 \cdot (1 - x)^2 \cdot e^{-x^2 - (y+1)^2} - 10 \cdot \left(\frac{x}{5} - x^3 - y^5 \right) \cdot e^{-x^2 - y^2} - \frac{1}{2} \cdot e^{-(x+1)^2 - y^2} \quad (3.67)$$

при зміні змінних в межах $-3 \leq x \leq 3$ і $-3 \leq y \leq 3$. На основі навчальної вибірки з 625 груп даних $([x, y], d)$, згенерованих при рівномірному розподілі змінних x і y в областях їх визначення, у роботі [88] побудована мережа зі структурою 2–36–1 (2 вхідних нейрона, 36 радіальних нейронів гауссовського типу і один вихідний лінійний нейрон). Застосовувався гібридний алгоритм навчання, у результаті максимальна похибка апроксимації після 200 ітерацій склала 0,06. Згідно з даним методом [73], на основі тієї ж навчальної вибірки за 20 поколінь була згенерована нейронна мережа з 26 радіальними нейронами, похибка апроксимації якої має величину 0,02. Графік функції, що апроксимується представлений на рис. 3.12, а, похибка її наближення на основі даного методу – на рис. 3.12, б. Таким чином, пропонується метод генерації радіальних нейронних мереж дозволяє значно скоротити час обчислень і забезпечує отримання більш ефективних мереж (з меншим числом нейронів і меншою похибкою) в порівнянні з традиційним способом.

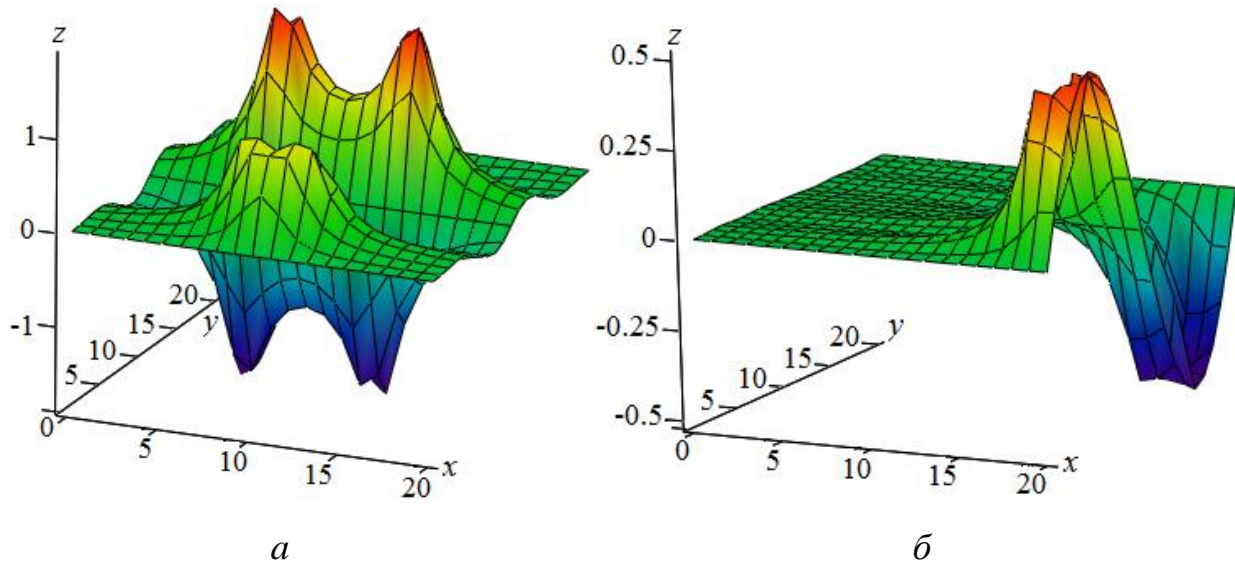


Рисунок 3.11 – 3D-поверхні апроксимуючої функції: *a* – графік тестової функції (3.64); *б* – похибка наближення тестової функції

Наближені моделі функції (3.67) були також побудовані на основі широко відомих і використовуваних на практиці методів, таких, як багат шаровий персептрон, мережа каскадної кореляції і метод групового урахування аргументів. При цьому загальна вибірка з 625 записів випадковим чином була розділена на навчальну (90 % записів) і тестову (10 % записів). Побудова моделі здійснювалась на навчальній вибірці, потім її якість перевірялося на тестовій вибірці. Отримані значення середньоквадратичної похибки (3.64) наведено у табл. 3.6. Даний метод [73] побудови наближених моделей показав найкращі результати.

Якість апроксимації різними методами оцінювалася коефіцієнтом детермінації (табл. 3.7), який характеризує так звану частку «пояснене» дисперсії і визначається як

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_i (y_i - M(y))^2}; \quad (3.68)$$

де y_i – початкові значення, \hat{y}_i – вирівняні значення, $M(y)$ – вибіркове середнє

вихідної серії динаміки. Чим ближче цей коефіцієнт до одиниці, тим краще якість апроксимації.

Таблиця 3.6 – Порівняння різних методів побудови наближених моделей

Модель	Опис побудованої моделі	Середньоквадратична похибка	
		Навчальна вибірка	Тестова вибірка
Багатошаровий персептрон	Два прихованих шару (11 і 4 нейрона) нейронів з логістичною функцією активації, нейрон вихідного шару з лінійною функцією активації	2,525	2,930
Метод групового урахування аргументів	В якості опорних функцій відібрані поліноми другого і третього ступеня і гаусіани	1,010	1,050
Мережа каскадної кореляції	16 нейронів в прихованому шарі з гаусівською функцією активації	0,265	0,440
Запропонований метод	26 нейронів з радіальної функцією активації у прихованому шарі	0,015	0,060

Таблиця 3.7 – Результати оцінювання якості апроксимації

Параметр	Багатошаровий персептрон	Метод угруповання аргументів	Каскадна кореляційна мережа	Наближений метод побудови моделей
Коефіцієнт детермінації R^2	0,632	0,788	0,834	0,992

Незадовільна якість апроксимації з використанням багатошарового персептрона пояснюється його простотою і специфічністю вихідних даних, якими є частота обертання ротора турбокомпресора і температура газів перед турбіною компресора.

На підставі представлених даних можна зробити висновок, що використання нейронних мереж дає прийнятний (досить високий) рівень апроксимації вихідних спостережуваних даних, перш за все, за рахунок наявності в нейронній мережі RBF прихованого шару нейронів з нелінійною

радіально-базисною функцією активації, що дозволяє відслідковувати найменші зміни рівнів досліджуваних часових рядів. При використанні нейронної мережі RBF отримано $R^2 = 0,992$, це той випадок, коли реальний вихід нейронної мережі і бажаний вихід (який за змістом збігається з розрахунковим і реальним значеннями) практично збігаються. Традиційними методами домогтися такого високого значення коефіцієнта детермінації практично неможливо.

Для перевірки ефективності запропонованого методу оптимізації проведемо дослідження на лінійній математичній моделі авіаційного ГТД вертольоту (див. п. 3.3), наприклад, ТВ3-117, що вимагає набагато менших витрат часу на обчислення, ніж модель, представлена в [89, 90], але, в той же час, володіє усіма особливостями реально використовуваних на практиці функції $f(x) \rightarrow \min$ при $g(x) > 0$, $h(x) = 0$. Для створення такої моделі скористаємося результатами роботи [91], де наводяться експериментальні залежності, що пов'язують деякі параметри робочого процесу (наприклад, залежність ККД компресора від частоти його обертання), що дозволяє скоротити число незалежних змінних. Відповідно до цього підходу, а також лінійної математичної моделі авіаційного ГТД вертольоту, розрахунок параметрів робочого процесу авіаційного ГТД вертольоту (у тому числі, ТВ3-117) необхідно проводити у декількох перерізах (на вході в двигун, на вході в компресор, за компресором, за камерою згоряння, за турбіною компресора, за вільною турбіною), як показано на рис. 3.12 і позначених відповідно індексами H , B , K , G , T , CT , де H – навколишнє середовище, B – вхідний пристрій, K – компресор, G – камера згоряння, T – турбіна компресора, CT – вільна турбіна.

Параметри на вході в двигун визначаються швидкістю і висотою польоту. На першому етапі розрахунку для кожного перерізу послідовно визначаються тиск і температура газу. При цьому повинні бути задані ступінь підвищення тиску в компресорі π_K і температура газу перед турбіною компресора T_G . На наступному етапі розрахунку визначаються робота компресора L_K і турбіни

компресора L_T , витрата повітря і питома витрата палива $C_{уд}$, яка необхідна для створення заданої потужності двигуна.

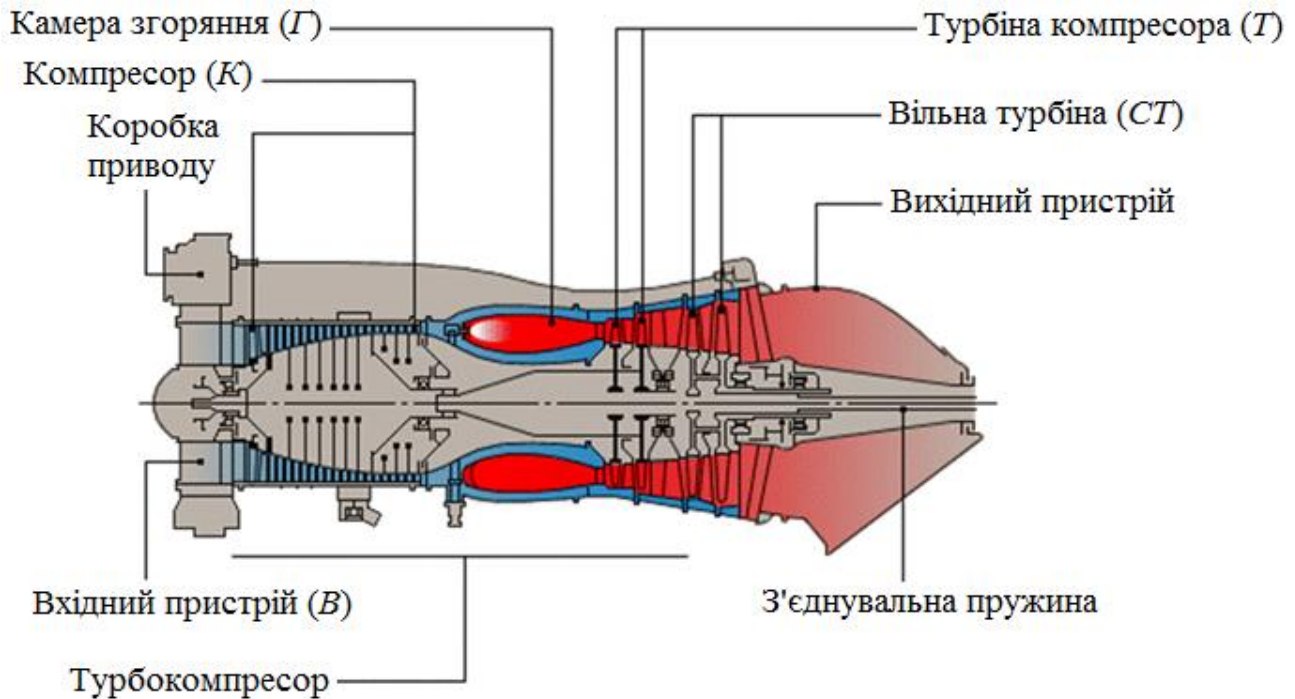


Рисунок 3.12 – Структурна модель авіаційного ГТД вертольоту (авіаційного ГТД з вільною турбіною)

Далі, на основі визначених раніше значень L_K , L_T і максимально можливого значення роботи одному щаблі визначається число ступенів компресора z_K і турбіни z_T , а також частота обертання ротора n . Дані про частоту обертання і геометрії проточної частини дозволяють визначити напругу розтягнення σ_p в лопатці робочого колеса останньої ступені турбіни, яка не повинна перевищувати 250 МПа [92].

Таким чином, відповідно до розглянутої математичної моделлю робочий процес авіаційного ГТД ТВ3-117 повністю визначається сімома незалежними параметрами: π_K – ступінь підвищення тиску в компресорі, T_G – температура газів перед турбіною компресора, λ_B , λ_K , λ_G , λ_T , λ_{CT} – наведені швидкості течії газу за вхідним пристроєм, компресором, камерою згоряння, турбіною

компресора і вільною турбіною відповідно. Обмеженнями при виборі допустимого поєднання незалежних параметрів є h_z – висота лопатки останнього ступеня компресора і σ_p – напруга розтягнення в лопатці робочого колеса останньої ступені турбіни. Таким чином, дана модель дозволяє варіювати значення π_K і T_G для отримання оптимальних параметрів робочого процесу. Залежно $C_{y\partial}$ (кг/Н·год), і σ_p (кг/мм²) від π_K і T_G (К) показані на рис. 3.13, а і б відповідно.

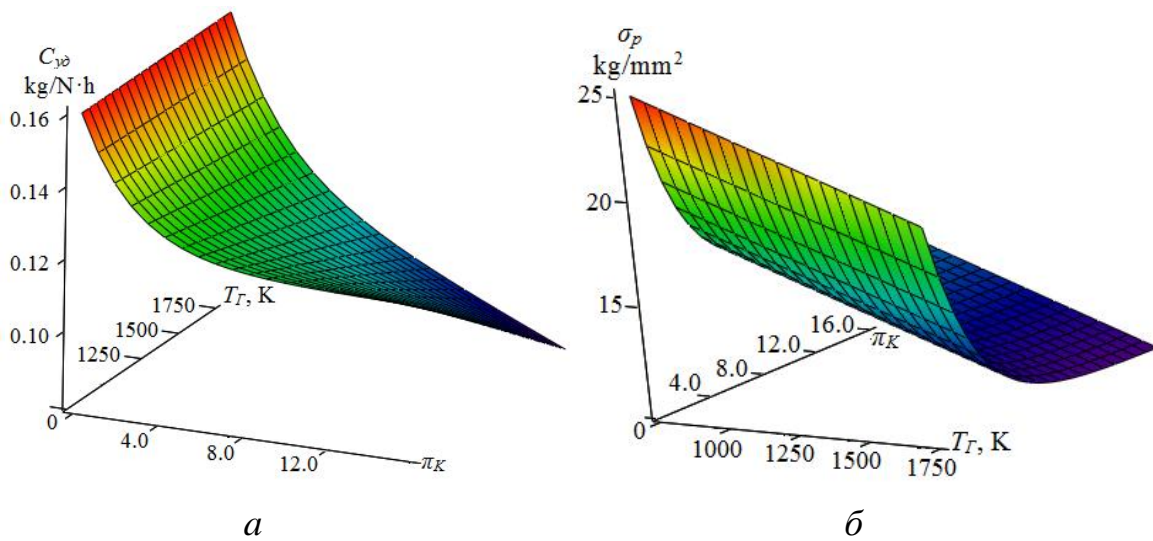


Рисунок 3.13 – Графік впливу незалежних змінних на цільові функції і обмеження

Розглянемо задачу пошуку Парето-оптимальної множини робочого процесу авіаційного ГТД ТВ3-117. В якості цільових змінних, які необхідно мінімізувати, визначимо питому витрату палива $C_{y\partial}$, наприклад, на злітному режимі. Задамо інтервали зміни для незалежних змінних: ступінь стиснення в компресорі $\pi_K = 4...20$, температура газу $T_G = 1300...1800$ К, наведені швидкості течії газу $\lambda_B = 0,6...0,7$, $\lambda_K = 0,25...0,35$, $\lambda_G = 0,15...0,25$, $\lambda_T = 0,4...0,65$, $\lambda_{CT} = 0,5...0,7$ і обмеження: висота лопатки останнього ступеня компресора $h_z > 15$ мм і напруги розтягнення в лопатці останнього ступеня турбіни $\sigma_p > 25$ кг/мм². Розрахункова модель двигуна побудована описаним вище способом. Задамо $\varepsilon =$

0,005 в умови закінчення обчислень (3.57).

Процес розв’язання сформульованої задачі відповідно до алгоритму, показаним на рис. 3.7, представлений в табл. 3.7. На першому кроці була згенерована навчальна вибірка з 45 векторів рішень $\mathbf{x} = (\pi_K, T_G, \lambda_B, \lambda_K, \lambda_G, \lambda_T, \lambda_{CT})$ відповідно до центральним композитним планом експерименту з центрами на гранях (CCF – Central Composite Design with Face Centered). З цих 45 рішень 9 задовольняли обмеженням і 7 були недомінованими.

На підставі даної вибірки були побудовані наближені моделі для цільових змінних і обмежень на основі нейронних мереж радіального базису відповідно до методу, описаного вище. У табл. 3.8 для кожної моделі наведені кількість нейронів в прихованому шарі N_h і пристосованість, обчислена згідно з виразом (3.64).

Таблиця 3.8 – Процес пошуку Парето-оптимальної множини рішень

Ітерації		Перша ітерація	Друга ітерація	Третя ітерація	Результат
Кількість рівнянь у навчальній вибірці		50	140	230	320
Кількість рівнянь, що задовольняють обмеженням		10	45	110	200
Розмір оптимального набору Парето		8	15	24	40
Модель C_{y0}	N_h	37	39	35	–
	e_m	0,00009	0,00011	0,00007	–
Модель σ_p	N_h	37	40	38	–
	e_m	0,02542	0,01768	0,34325	–
Модель h_z	N_h	40	35	36	–
	e_m	0,00005	0,00004	0,00004	–
Загальна відносна похибка моделей		e	0,0065	0,0054	0,0037

На підставі отриманих моделей за допомогою алгоритму NSGA-II (розмір популяції – 100 особин, 500 поколінь навчання) було знайдено множину з 100 Парето-оптимальних рішень, сумарна відносна похибка (3.60) при цьому склала $e = 0,0065$. Після перевірки даних рішень на точній моделі, вони були додані до навчальної вибірки, розмір якої тепер склав 140 векторів (з них

задовольняли обмеженням – 45, належали множині Парето-оптимальних – 15), і весь цикл обчислень був повторений заново (друга ітерація). Всього було виконано три ітерації, для чого потрібно було 320 викликів функцій мінімізації. Сумарна відносна похибка моделей, побудованих на другий ітерації, склала $e = 0,0054$, на третій ітерації – $e = 0,0037$. Деякі зі знайдених Парето-оптимальних параметрів робочого процесу авіаційного ГТД ТВ3-117 представлені у табл. 3.9.

Результати всіх ітерацій представлені на рис. 3.14 (в дужках вказано кількість точок в навчальній вибірці / кількість точок, що належать Парето-оптимальної множини рішень).

Таблиця 3.9 – Варіанти параметрів робочого процесу авіаційного ГТД ТВ3-117 в режимі льотної експлуатації вертольоту

C_{yD} кг/Н·год	σ_p кг/мм ²	h_z , мм	π_K	T_T , К	λ_B	λ_K	λ_T	λ_{CT}	λ_{CT}
0,085	12,9	15	13,0	1310	0,685	0,250	0,25	0,640	0,682
0,089	17,4	15	10,9	1302	0,693	0,278	0,25	0,462	0,577
0,092	17,7	15	10,2	1308	0,693	0,299	0,25	0,468	0,581
0,096	17,5	15	8,7	1308	0,693	0,343	0,25	0,507	0,586
0,101	16,9	15	8,6	1354	0,693	0,343	0,25	0,539	0,593
0,109	17,0	15	8,7	1466	0,693	0,343	0,25	0,525	0,599
0,115	17,1	15	8,6	1545	0,693	0,343	0,25	0,508	0,575
0,124	17,7	15	8,2	1638	0,693	0,343	0,25	0,485	0,564
0,130	17,2	16	8,0	1699	0,693	0,343	0,25	0,505	0,542
0,137	21,5	19	6,9	1684	0,693	0,343	0,25	0,443	0,529
0,146	24,2	23	5,3	1686	0,693	0,343	0,25	0,469	0,511

На рис. 3.14, а також показано Парето-оптимальну множину (фронт Парето), отриману методом NSGA-II (100 особин в популяції, 500 поколінь) на основі точної моделі. Для знаходження даної множини знадобилося 50000 звернень до функцій мінімізації. На рис. 3.14, б представлено порівняння трьох Парето-оптимальних множин рішень: отриманого на основі запропонованої наближеною моделі (320 викликів точної моделі) і отриманого на основі точної моделі за 500 звернень (100 особин в популяції, 5 поколінь) і за 50000 звернень (100 особин в популяції, 500 поколінь).

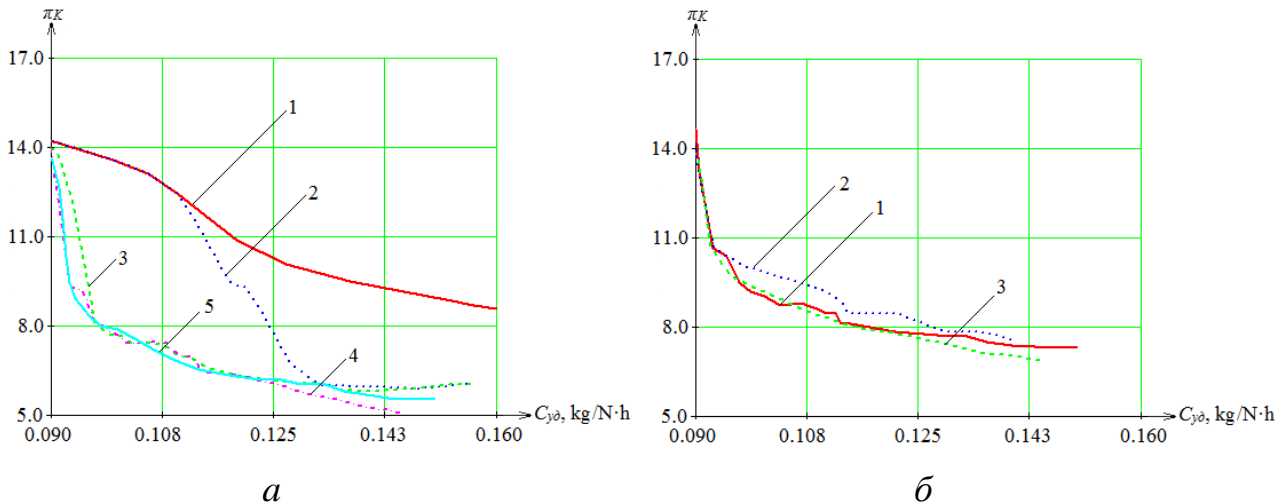


Рисунок 3.14 – Результати: *а* – еволюція парето-оптимальних наборів рішень в процесі обчислень: 1) початкова навчальна вибірка (50/8), 2) перша ітерація (140/15), 3) друга ітерація (230/24), 4) третя ітерація. ітерація (320/40); 5) рішення на основі точної моделі (50000/100); *б* – порівняння трьох Парето-оптимальних наборів рішень: 1) наближена модель, 2) точна модель – 5 поколінь, 3) точна модель – 500 поколінь

Отримані результати свідчать, що запропонований метод побудови наближених моделей дозволяє скоротити витрати машинного часу на розрахунки при багатокритеріальній оптимізації з обмеженнями більш ніж у 100 разів.

Програмне забезпечення, що реалізує описаний метод, написано на мові Python 2.6 за допомогою бібліотек `numpy` і `scipy`. Програма складається з чотирьох модулів (рис. 3.15), що реалізують планування експерименту, багатокритеріальну оптимізацію за методом NSGA-II, побудова наближених моделей на базі RBF-мереж, як це було описано вище, і графічний інтерфейс користувача. Висока швидкість роботи запропонованих методів, а також швидкість обчислень за допомогою бібліотек `numpy` і `scipy` мови Python дозволило розмістити всі компоненти системи на одній робочій станції без втрати продуктивності. Обмін із зовнішніми програмними системами, в яких здійснюється обчислення точних моделей, ведеться через файли обміну. Дані

системи можуть бути застосовані в паралельному середовищі на обчислювальному кластері.

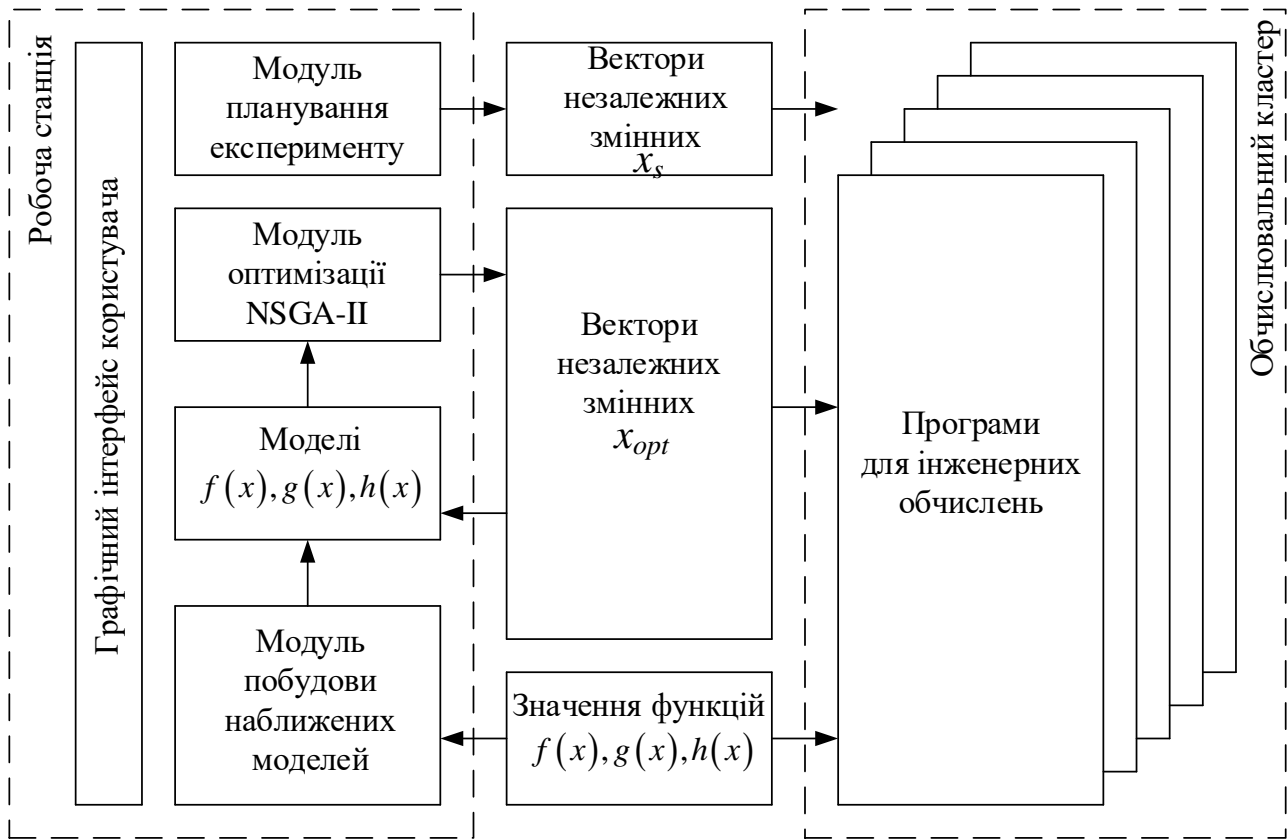


Рисунок 3.15 – Програмна реалізація запропонованого методу [73]

Висновки до розділу

1. Визначено характерні особливості інтелектуальної нейромережевої системи автоматизації моніторингу та управління експлуатацією технічного стану авіаційних двигунів вертольотів, що дозволяє ефективно і якісно вирішувати широкий спектр комплексних задач на основі кількісних і якісних моделей, об'єднаних єдиним інформаційним простором, а також можливість використання даних підходів при вирішенні подібних задач в польотних режимах.

2. Розроблено математичну модель авіаційного двигуна з вільною турбіною, що ґрунтується на рівняннях процесів, що перебігають в основних

елементах двигуна, за допомогою якої визначаються основні термогазодинамічні параметри даного типу двигуна, які є вхідними параметрами пропонованої інтелектуальної системи автоматизації моніторингу технічного стану авіаційних двигунів вертольотів в польотних режимах.

3. Описана задача та шляхи її розв'язку удосконалення бортової системи моніторингу технічного стану авіаційних двигунів вертольотів із використанням нейромережевих технологій, в ході якої розроблено алгоритм побудови нейронної мережі, особливістю якого є використання вхідної одновимірної і багатовимірної фільтрації Калмана задля підвищення модельних значень координат виходу лінійної адаптивної бортової нейромережевої моделі авіаційного двигуна вертольоту.

4. Отримав подальший розвиток метод побудови наближеної моделі досліджуваного об'єкта, що базується на алгоритмі багатокритеріальної оптимізації, із застосуванням нейронних мереж РБФ, який за рахунок використання спрощеної математичної моделі авіаційного двигуна вертольоту, а також газодинамічних функцій, дозволяє оптимізувати параметри його робочого процесу під час польоту вертольоту.

5. Застосований метод побудови наближеної моделі досліджуваного об'єкта дозволяє отримати області раціональних значень параметрів для двопараметричних задач на прикладі параметрів робочого процесу авіаційного ГТД ТВ3-117 – ступеня підвищення повітря тиску в компресорі і температури газів перед турбіною компресора.

6. Отримано варіанти оптимального робочого процесу авіаційного ГТД ТВ3-117 на злітному режимі, які дозволяють застосувати оптимальну програму регулювання для отримання максимальної потужності двигуна. Отримані результати свідчать, що запропонований метод побудови наближених моделей дозволяє скоротити витрати машинного часу на розрахунки при багатокритеріальній оптимізації з обмеженнями більш ніж в 100 разів.

Список використаних джерел

1. Конструкция и эксплуатация двигателя ТВ3-117В : учебное пособие. 185 с. URL: <https://tehclub.site/storage/products/07-20/konstruktsiya-i-ekspluatatsiya-dvigatelya-tv3117v.pdf>
2. Кеба И. В. Конструкция и эксплуатация двигателя ТВ3-117ВМ/ВМА : учебное пособие. Кременчуг: КЛК НАУ, 2010. 184 с.
3. Формування програм технічного обслуговування авіаційних двигунів / Дмитрієв С. О., Бурлаков В. І., Попов О. В., Попов Д. В. *Авіаційно-космічна техніка і технології*. 2013. № 7 (104). С. 190–194.
4. Дмитрієв С. О., Бурлаков В. І., Попов О. В., Попов Д. В. Формалізація процедур та визначення оптимальних програм технічного обслуговування повітряних суден та авіаційних двигунів. *Авіаційно-космічна техніка і технології*. 2014. № 9 (116). С. 177–181.
5. Бармин И. В., Юсупов Р. М., Прохорович В. Е. Концепция управления состоянием сложных технических комплексов за пределами плановых сроков эксплуатации. *Информационные технологии*. 2000. № 5. С. 2–7.
6. Саранцев В. В. Методические аспекты перевода авиационных двигателей на эксплуатацию по состоянию. *Испытания авиационных двигателей*. 1986. № 14. С. 3–8.
7. Саранцев В. В. Цели и методы контроля состояния двигателей при эксплуатации по состоянию. *Испытания авиационных двигателей*. 1986. № 14. С. 8–18.
8. Морозов А. А., Саранцев В. В. Структура и особенности систем эксплуатации двигателей по техническому состоянию. *Испытания авиационных двигателей*. 1987. № 15. С. 155–162.
9. Gas turbine engines diagnosing using the methods of pattern recognition / S. Dmitriev, O. Popov, O. Yakushenko, V. Potapov, O. Pashchuk. *Авиационно-космическая техника и технология*. 2017. № 8. С. 115–120.

10. Дмитриев С. А., Бурлаков В. И., Попов А. В., Попов Д. В. Система обеспечения качества технического обслуживания авиационной техники. *ABIA-17: XIII Міжнародна науково-технічна конференція, 19–21 квітня 2017 р.* С. 17.1–17.4.

11. Дмитрієв С. О., Бурлаков В. І., Попов О. В., Попов Д. В. Створення інформаційних технологій забезпечення процесів ТО ПС та авіаційних двигунів системі збереження льотної придатності АТ. *ИРТК-2013: VI міжнародна науково-практична конференція.* 2013. С. 185–187.

12. Popov O., Dmytriev S., Burlakov V., Popov D. Formalization of procedures and determining the optimal maintenance of aircraft and aircraft engine programs. *Safety in aviation and space technology: III world congress Aviation in the XXI-st century.* 2014. P. 161–164.

13. Popov O., Dmytriev S., Burlakov V., Popov D. Technological processes and quality control in aircraft engine maintenance. *Aviation.* 2015. Vol. 19, iss. 3. P. 133–137.

14. Puchikov Y., Molodtsov N., Rugain A. Problems of continued airworthiness the aircraft fleet of Ukraine. *Proceedings of the National Aviation University.* 2014. No 4 (61). P. 105–109.

15. Goncharenko A. V. Alternativeness of control and power equipment repair versus purchasing according to the preferences of the options. *Electronics and control systems: Scientific journal.* 2016. No 4 (50). P. 98–101.

16. Інформаційні технології забезпечення конструктивно-експлуатаційних властивостей повітряних суден та авіадвигунів / Дмитрієв С. О., Попов О. В., Попов Д. В., Арістов Г. О. *Вісник двигунобудування.* 2015. № 2. С. 67–72.

17. Kasianov V. A., Goncharenko A. V. Subjective entropy approach applicability to aeronautical engineering operational problems. *ABIA-17: XIII Міжнародна науково-технічна конференція, 19–21 квітня 2017.* С. 17.5–17.8.

18. Юрченко О. І., Терлецька Н. В. Поступові кроки з наближення галузі

цивільної авіації до стандартів європейського союзу в питаннях підтримання льотної придатності повітряних суден. *ABIA-17: XIII міжнародна науково-технічна конференція*, 19–21 квітня 2017. С. 17.22–17.24.

19. Юрченко О. І. Особливості аутсорингу технічного обслуговування експлуатантами повітряних суден. *ABIA-17: XIII міжнародна науково-технічна конференція*, 19–21 квітня 2017. С. 17.52–17.55.

20. Gas turbine engines diagnosing using the methods of pattern recognition / Dmitriev S. et al. *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. 2017. № 8/143. С. 115–120.

21. Владов С. И., Климова Я. Р. К вопросу формирования информативных диагностических каналов, исходя из рабочих процессов, протекающих в двигателе вертолета Ми-8МТВ. *Авіація, промисловість, суспільство* : матеріали I Всеукраїнської наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів і студентів, 27 квітня 2018 р. Кременчук : КЛК НАУ, 2018. С. 136–138.

22. Владов С. И., Климова Я. Р., Васильев Д. А. К вопросу контроля и диагностики технического состояния масляной системы авиационных двигателей с применением нейронных сетей. *Авіація, промисловість, суспільство* : матеріали I Всеукраїнської наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів і студентів, 27 квітня 2018 р. Кременчуг: КЛК НАУ, 2018. С. 138–139.

23. Rolls-Royce. *The Magazine*. 2000. Issue 87. P. 10–15.

24. Rolls-Royce. *The Magazine*. 2003. Issue 96. P. 26–31.

25. Astrom K. J., McAvoy T. J. Intelligent Control: An Overview and Evaluation. In: *Handbook of Intelligent Control. Neural, Fuzzy, and Adaptive Approaches* / D.A. White, D.A. Sofge (eds.). Van Nostrand Reinhold, New York, 1992. P. 3–34.

26. Шмельов Ю. М., Владов С. И., Климова Я.Р. Характерні особливості інформаційної системи ідентифікації технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117. *Весняні наукові читання* : матеріали XIX Міжнародної науково-практичної конференції, 18 квітня, 2018 р. Вінниця : Наука та практика, 2018. Ч.

6. С. 29–34.

27. Климова Я. Р., Владов С.И. Проблематика информационного обеспечения определения, диагностики и прогнозирования летных характеристик вертолета. *Авіація і космонавтика* : матеріали ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції, 17 квітня 2018 р., Кривий Ріг. Кривий Ріг : КК НАУ, 2018. С. 59.

28. Васильев В. И., Жернаков С. В., Уразбахтина Л. Б. Нейросетевой контроль параметров газотурбинного двигателя. *Нейрокомпьютеры: разработка и применение*. 2001. № 1. С. 37–43.

29. Васильев В. И., Жернаков С. В. Контроль и диагностика технического состояния авиационных двигателей на основе интеллектуального анализа данных. *Вестник УГАТУ*. 2006. Т. 7. № 2 (15). С. 71–81.

30. Жернаков С. В. Контроль и диагностика технического состояния авиационных двигателей на основе интеллектуального анализа данных : дис... докт. техн. наук : 05.13.01. Уфа, 2006. 350 с.

31. Машошин О. Ф. Диагностика авиационных газотурбинных двигателей с использованием информационного потенциала контролируемых параметров : дис... докт. техн. наук : 05.22.14. Москва, 2005. 233 с.

32. Особенности использования FU-GE-NE-SYS алгоритмов в процессе синтеза нейронной модели состояния авиационного двигателя / Дмитриев С. А. и др. *Авиационно-космическая техника и технологии*. 2000. Вып. 19. С. 372–376.

33. Жернаков С. В. Активная диагностическая экспертная система. *Проблемы машиностроения и надежности машин*. 2002. № 1. С. 92–99.

34. Isermann R. Fault diagnosis of machines via parameter estimation and knowledge processing. *Automatica*. 1993. Vol. 29. P. 815–836.

35. Zedda M., Singh R. Fault diagnosis of a turbofan engine using neural networks: a quantitative approach. *Proc. of the 34th AIAA / ASME / SAE / ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit*. 1998. P. 1–10.

36. Легконогих Д. С. Применение нейросетевых технологий в системах диагностики авиационных силовых установок. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2012. Т. 14. № 4 (2). С. 639–643.

37. Жернаков С. В. Параметрическая идентификация ГТД гибридным ансамблем нейросетей. *Нейрокомпьютеры : разработка и применение*. 2001. № 4–5. С. 31–35.

38. Жернаков С. В. Распознавание параметров авиационного двигателя нейросетями. *Автоматизация и современные технологии*. 2003. № 4. С. 29–31.

39. Жернаков С. В. Идентификация параметров авиационного двигателя на основе нейронных сетей. *Информационные технологии*. 2003. № 12. С. 31–39.

40. Жернаков С. В. Применение технологии нейронных сетей для диагностики технического состояния авиационных двигателей. *Интеллектуальные системы в производстве*. 2006. № 2. С. 70–83.

41. Жернаков С. В. Идентификация характеристик ГТД на основе технологии нейронных сетей. *Полет*. 2006. № 10. С. 9–15.

42. Жернаков С. В. Идентификация характеристик газотурбинного двигателя на основе нейронных сетей. *Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика*. 2006. № 11. С. 49–55.

43. Васильев В. И., Жернаков С. В. Классификация режимов работы ГТД с использованием технологии нейронных сетей. *Вестник УГАТУ*. 2009. Т. 12. № 1 (30). С. 53–60.

44. Васильев В. И., Жернаков С. В., Муслухов И. И. Бортовые алгоритмы контроля параметров ГТД на основе технологии нейронных сетей. *Вестник УГАТУ*. 2009. Т. 12. № 1 (30). С. 61–74.

45. Жернаков С. В., Равилов Р. Ф. Идентификация обратной многорежимной модели ГТД по параметрам его масляной системы на основе технологии нейронных сетей. *Вестник ИжГТУ*. 2011. № 3 (51). С. 126–129.

46. Жернаков С. В., Равилов Р. Ф. Тренд-анализ авиационного ГТД на

основе технологии нейронных сетей. *Вестник УГАТУ*. 2011. Т. 15, № 4 (44). С. 25–32.

47. Жернаков С. В., Иванова Н. С., Равилов Р. Ф. Контроль и диагностика технического состояния масляной системы ГТД с использованием технологии нейронных сетей. *Вестник УГАТУ*. 2012. Т. 16, № 2 (47). С. 210–220.

48. Жернаков С. В., Кинарский А. В. Отладка параметров авиационного газотурбинного двигателя на основе нейросетевых технологий. *Вестник УГАТУ*. 2013. Т. 17, № 5 (58). С. 26–30.

49. Жернаков С. В., Гильманшин А. Т. Новые алгоритмы бортовой диагностики авиационного газотурбинного двигателя на базе нейро-нечетких сетей. *Вестник УГАТУ*. 2015. Т. 19, № 2 (68). С. 63–68.

50. Kiakojoori S., Khorasani K. Dynamic neural networks for gas turbine engine degradation prediction, health monitoring and prognosis. *Neural Computing & Applications*. 2016. Vol. 27. No. 8. P. 2151–2192.

51. Владов С. І., Шмельова Т. Ф., Шмельов Ю. М. Контроль і діагностика технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 у польотних режимах за допомогою нейромережових технологій : Монографія. Кременчук : ПП Щербатих А. В., 2020. 200 с.

52. Черкез А. Я. Инженерные расчеты газотурбинных двигателей. Москва : Машиностроение, 1965. 380 с.

53. Епишев Н. И. Исследование характеристик и параметрическая диагностика авиационных ГТД, работающих в наземных условиях : дис... канд. техн. наук : 05.07.07. Казань, 1983. 204 с.

54. Теория автоматического управления силовыми установками летательных аппаратов: Управление ВРД / Белкин Ю. С. и др.; под ред. А. А. Шевякова. Москва : Машиностроение, 1976. 344 с.

55. Юнаков Л. П. Термодинамический расчет ТРД и ТРДФ. Санкт-Петербург : Балтийский государственный технический университет «Военмех», 2013. 64 с.

56. Владов С. И., Климова Я. Р., Васильев Д. А. К вопросу контроля и диагностики технического состояния масляной системы авиационных двигателей с применением нейронных сетей. *Авіація, промисловість, суспільство* : матеріали I Всеукраїнської наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів, 27 квітня 2018 р. Кременчук : КЛК НАУ, 2018. С. 138–139.

57. Шмельов Ю. М., Владов С. И., Клімова Я. Р. Щодо питання розробки інформаційної системи ідентифікації технічного стану авіаційного турбовального двигуна ТВ3-117. *Наукові дослідження : закономірності та парадокси* : матеріали Міждисциплінарної наук.-практ. конф., 18 травня 2018 р. Київ : Юдіна Л. І., 2018. С. 20–22.

58. Применение нейросетевых технологий в системе контроля технического состояния авиационного двигателя ТВ3-117 в полетных режимах / Шмелев Ю. Н., Владов С. И., Крышан А. Ф., Гвоздик С. Д. *Радиотехника*. 2018. Вып. 194. С. 147–154.

59. Neuro-mechanical methods of control and diagnostics of the technical state of aircraft engine TV3-117 in film regions / Vladov S. et al. *Visnyk of Kherson National Technical University*. 2020. No. 1 (72). Part 1. P. 141–154.

60. Prediction of the technical condition of the TV3-117 aircraft engine in the conditions of on-board implementation based on neural network technologies / Shmelov Y., Vladov S., Tsarenko A. et al. *2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON-2019)*, Lviv, Ukraine, 02–06 July 2019. 2019. P. 883–888.

61. Куликов Г. Г. Динамические модели авиационных газотурбинных двигателей для создания и эксплуатации систем автоматического управления. *Вестник УГАТУ*. 2000. № 2. С. 157–164.

62. Нейрокомпьютеры в авиации (самолеты) : книга 14 / под ред. В. И. Васильева, Б. Г. Ильясова, С. Т. Кусимова. Москва : Радиотехника, 2003. 496 с.

63. Васильев В. И., Валеев С. С. Оценка сложности нейросетевых моделей на основе энтропийного подхода. *Нейрокомпьютеры, разработка, применение*. 2004. № 9. С.10–16.

64. Підвищення надійності системи автоматичного управління авіаційного двигуна ТВ3-117 з використанням його бортової нейромережевої моделі / Владов С. І., Шмельов Ю. М., Сіора А. С., Яніцький А. А., Пономаренко А. В. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2020. Вип. 2/2020 (121). С. 91–96.

65. Кузнецова Т. А., Августинович В. Г., Якушев А. П. Статистический анализ процессов в системах управления авиационных двигателей с бортовыми математическими моделями. *Научно-технический вестник Поволжья*. 2014. № 35. С. 236–238.

66. Лялькина Г. Б., Бердышев О. В. Математическая обработка результатов эксперимента. Пермь : Издательство Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2013. 78 с.

67. Borguet S., Dewallef P., Leonard O. On-line transient engine diagnostics in a Kalman filtering framework. *Proceedings of ASME Turbo Expo 2005: Power for Land, Sea and Air*, 06–09 June, 2005, Reno-Tahoe. 2005. GT2005-68013. 9 p. URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1074.385&rep=rep1&type=pdf>

68. Кузнецова Т. А., Губарев Е. А., Лихачева Ю. В. Алгоритмы оптимальной фильтрации в задачах идентификации параметров систем автоматического управления авиационных двигателей. *Информационно-измерительные и управляющие системы*. 2014. Т. 12, № 9. С. 12–20.

69. Liu G. P., Yang J. B., Whidborne J. F. Multiobjective optimization and control. Baldock: Research Studies Press Ltd. 2003. 330 p.

70. Иванов А. Б., Григорьев В. А. Оптимальное согласование параметров вертолетов и двигателей в подсистеме «Аппарат» САПР малоразмерных ГТД. *Проектирование и конструкция вертолетов* : труды II научных чтений,

посвященных памяти академика Б. Н. Юрьева, 1988. С. 38–47.

71. Тунаков А. П. Методы оптимизации при доводке и проектировании газотурбинных двигателей. Москва : Машиностроение, 1979. 184 с.

72. Григорьев В. А., Радько В. М., Калабухов Д. С. Аппроксимационные модели критериев оценки эффективности малоразмерного газотурбинного двигателя для многоцелевого вертолета. *Авиационно–космическая техника и технология*. 2011. № 9 (86). С. 19–24.

73. Зеленков Ю. А. Метод многокритериальной оптимизации на основе приближенных моделей исследуемого объекта. *Вычислительные методы и программирование*. 2010. Т. 11. С. 250–260.

74. Deb K. (1998), “Multi-objective genetic algorithms: problem difficulties and construction of test problems”, *Evolutionary Computation*, vol. 7, no 3, pp. 205–230.

75. Ntantis E. L., Li Y. G. The impact of measurement noise in GPA diagnostics analysis of a gas turbine engine. *International Journal of Turbo & Jet Engine*. 2013. Vol. 30 (4). Pp. 401–408.

76. Schittkowski K., Zillober C. Nonlinear Programming: Algorithms, Software, and Applications. *System Modeling and Optimization : Proceedings of the 21st IFIP TC7 Conference held in July 21st–25th, 2003, Sophia*, pp. 73–107.

77. Zitzler E., Thiele L. Multiobjective evolutionary algorithms: a comparative case study and the strength Pareto approach. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. 1999. Vol. 3. No 4. Pp. 257–271.

78. Владов С. І., Семенов В. О., Гвоздік С. Д. Метод багатofакторного критеріального планування експериментів при дослідженні характеристик і процесів авіаційного двигуна ТВ3-117. *Інформаційні технології в культурі, мистецтві, освіті, науці, економіці та бізнесі : матеріали щорічної Міжнародної науково-практичної конференції, 18–19 квітня 2019 р., м. Київ. К. : Київський національний університет культури і мистецтв, 2019. С. 147–149.*

79. Egorov I. N., Kretinin G. V., Leshchenko I. A., Kuptzov S. V. (2004),

“Multi-objective robust optimization of air engine using IOSO technology”, ASME Turbo Expo 2004: Power for Land, Sea, and Air, June 14–17, 2004, pp. 157–163.

80. Stepashko V. S. (2018), “Formation and development of self-organizing intelligent technologies of inductive modeling”, Cybernetics and Computer Engineering Journal, issue 4 (194), pp. 2578–2663.

81. Ayala H. V. H., Habineza D., Rakotondrabe M. and Coelhod L. (2020), “Nonlinear black-box system identification through coevolutionary algorithms and radial basis function artificial neural networks”, Applied Soft Computing, vol. 87, pp. 105990.

82. Banzhaf W. (2013), “Evolutionary computation and genetic programming”, Engineered Biomimicry, pp. 429–447.

83. Herzog S., Tetzlaff C. and Worgotter F. (2020), “Evolving artificial neural networks with feedback”, Neural Networks, vol. 123, pp. 153–162.

84. Hang J., Li Y., Xiao W. and Zhang Z. (2020), “Non-iterative and fast deep learning: multilayer extreme learning machines”, Journal of the Franklin Institute, vol. 357, issue 13, pp. 8925–8955.

85. Herzog S., Tetzlaff C., Worgotter F. (2020), “Evolving artificial neural networks with feedback”, Neural Networks, vol. 123, pp. 153–162.

86. Zhang L., Li H., K. X.-G. (2019), “Evolving feedforward artificial neural networks using a two-stage approach”, Neurocomputing, vol. 360, pp. 25–36.

87. Junfei Q., Xi M., Wenjing L., (2018), “An incremental neuronal-activity-based RBF neural network for nonlinear system modeling”, Neurocomputing, vol. 302, pp. 1–11.

88. Bodyansky E. V. and Rudenko O. G. (2004) Artificial neural networks: architectures, training, applications. Kharkiv, Teletech, 369 p.

89. Владов С. І., Подгорних Н. В., Телешун В. Я. Математична модель компресора авіаційного двигуна ТВ3-117 задля його контролю і діагностики технічного стану в умовах бортової експлуатації повітряного судна. *Шлях успіху і перспективи розвитку* (до 26 річниці заснування Харківського

національного університету внутрішніх справ) : матеріали міжнародної науково-практичної конференції, 20 листопада 2020 р., Харків. С. 112–116.

90. Владов С. І., Янкевич Н. С.. Лінійна математична модель авіаційного двигуна ТВ3-117. *Авіація та космонавтика* : матеріали XII Всеукраїнської науково-практичної конференції, 20 квітня 2021 р., Кривий Ріг. С. 57

91. Pashayev A. M., Askerov D. D., Ardil C., Sadiqov R. A., Abdullayev P. S. Condition monitoring system of aircraft gas turbine engine complex. *International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering*. 2007. Vol. 1. No 11. Pp. 689–695.

92. Mu J., Rees D., Liu G. P. (2005), “Advanced controller design for aircraft gas turbine engines”, *Control Engineering Practice*, vol. 13, issue 8, pp. 1001–1015.

РОЗДІЛ 4

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ В ЕКОНОМІЧНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ АВІАКОМПАНІЙ

4.1 Роль інформаційних систем в сучасних організаціях та особливості інформаційних систем на авіаційних підприємствах

На сьогодні будь-яка сфера суспільного життя ґрунтується на використанні інформації. Інформаційна революція, про яку кажуть вчені і практики, справила значний вплив і на діяльність підприємств і організацій. Цифрова трансформація, яка триває останніми роками, формує інструменти та методи перебігу організаційних процесів і функцій, визначає взаємодію суб'єктів господарювання з клієнтами та споживачами, замовниками, іншими учасниками ринку. Такі інструменти розширюють можливість генерування, зберігання та обміну інформацією, досвідом у цифровій формі. Отриманий масив даних оброблюються складними методами аналізу та діагностики, на основі яких приймаються управлінські рішення та відбувається сам процес управління у різних сферах організаційної діяльності.

Сучасна парадигма економіки знань визнає інформаційні технології (IT) рушійною силою економічного зростання: цифровізація охоплює безліч організаційних процесів, а інновації у сфері діджитал-технологій та інформаційних систем стають популярним продуктом на ринку. «Впровадження інформаційних систем і технологій є обов'язковою умовою діяльності сучасного підприємства, що сприятиме прийняттю обґрунтованих стратегічних управлінських рішень, спрямованих на зростання конкурентоспроможності і посилення економічної безпеки підприємства» [1, с. 58].

Люди покладаються на сучасні інформаційні системи для спілкування між собою за допомогою різноманітних фізичних пристроїв (апаратне

забезпечення), інструкцій та процедур обробки інформації (програмне забезпечення), каналів зв'язку (мережі) та збережених даних (ресурси даних)

Інформаційною системою (ІС) вважають групу взаємопов'язаних елементів, які задіяні у процесі отримання, обробки, зберігання, передачі, контрольних даних з метою перетворення їх в інформацію, яка може бути використана для підтримки прогнозування, планування, контролю, координації, прийняття рішень та оперативної діяльності в організації [2]. Також відзначається, що інформаційна система дозволяє відстежувати організаційні процеси, починаючи від планування і закінчуючи доставкою продукції або наданням послуг, та їх якість [3].

Окрім підтримки прийняття рішень, координації та контролю, інформаційні системи також можуть допомогти керівникам та працівникам аналізувати проблеми, візуалізувати результати роботи [4] та орієнтувати у напрямках розвитку. Фахівцями вказується, що «...для впровадження інноваційних технологій на підприємствах необхідний регулярний і безперервний процес, що включає наступні етапи:

- пошук нових ідей, технологій, рішень;
- апробація технологій в діяльності підприємства на невеликій ділянці;
- застосування технології в масштабах всього підприємства;
- оцінка окупності від застосування інноваційної технології (на основі методу дисконтування)» [5].

За своїми напрямками сучасні інформаційні системи в організації складаються з:

- систем обробки транзакцій, які обслуговують операційний рівень процесів в організації;
- систем управління процесами, а саме їх моніторингу та керування ними;
- систем корпоративної співпраці (офісної автоматизації), які допомагають працівникам організувати, систематизувати потік інформації в

організаціях. Фактично це системи комунікації та командної роботи;

- систем менеджменту, призначених для допомоги оперативному керівництву у моніторингу та контролі діяльності з обробки транзакцій. Ця система пов'язана із системою обробки транзакцій, проте агрегує і систематизує інформацію у звіти;

- систем підтримки прийняття рішень, які призначені для моделювання, формулювання, обчислення, порівняння, вибору найкращого варіанту або прогнозування сценаріїв. Такі системі важливі у ситуаціях, коли існує невизначеність щодо можливих результатів рішень. Про їх необхідність в сучасних умовах зазначається у працях [6, 7];

- виконавчих інформаційних систем, які забезпечують швидкий доступ як до внутрішньої, так і до зовнішньої інформації, часто представленої у графічному форматі, але з можливістю подання більш детальних базових даних [8], адаптованих до інформаційних потреб керівників;

- експертних систем, які належать до категорії штучного інтелекту та засновані на знаннях, які надають експертні поради та виконують роль консультантів-експертів;

- систем управління знаннями, які засновані на знаннях, що підтримують створення, систематизацію та поширення організаційних знань серед співробітників;

- стратегічних інформаційних систем для визначення стратегічних переваг над конкурентами на ринку;

- функціональних систем, які орієнтовані на операційні та управлінські програми для підтримки основних бізнес-функцій, до прикладу, в сфері бухгалтерського обліку, фінансів, маркетингу, управління операціями та управління людськими ресурсами;

- інформаційні системи продажів та маркетингу пов'язані з виявленням споживачів продуктів чи послуг фірми, їх потребами, плануванням та розробкою продуктів та послуг для задоволення їх потреб, прийняттям рішень

щодо ціноутворення, оцінкою ефективності просування товарів та послуг та прогнозуванням продажів. «Значення цих систем для маркетингової діяльності велике. Такі системи дають у розпорядження маркетологів компанії комплексну інформацію, що дозволяє точно оцінити потенціал кожного клієнта і сконцентрувати основну увагу на найбільш перспективних відносинах сьогодні і в майбутньому. Довгострокові і взаємовигідні відносини з клієнтами є основою успішної діяльності підприємства» [9, с. 288];

- інформаційні системи виробництва відповідають за процес виробництва товарів та послуг, беруть участь у: плануванні, модернізації та обслуговуванні виробничих потужностей; встановленні виробничих цілей; придбанні, зберіганні та оцінці наявності виробничих матеріалів; плануванні обладнання, матеріалів та робочої сили, необхідних для виготовлення готової продукції. За оцінкою фахівців [7], призначення виробничої інформаційної системи полягає у застосуванні комп'ютерних технологій для покращення процесу та ефективності виробничої системи, тим самим підвищуючи якість продукції та знижуючи витрати на виробництво;

- інформаційні системи фінансів та бухгалтерського обліку відповідають за управління фінансовими активами, такими як готівка, акції, облигації, інші інвестиції, за ведення та управління фінансовими звітами фірми [6]. Вони дозволяють автоматизувати роботу щодо проведення бухгалтерських операцій;

- інформаційні системи фінансового менеджменту надають інформацію щодо фінансових потоків та результатів всім фінансовим менеджерам в організації. Така система пов'язана із системою бухгалтерського обліку;

- інформаційні системи людських ресурсів відповідають за залучення, розвиток та підтримку робочої сили організації, виявляють потенційних працівників, ведуть облік наявних працівників та формують програми для розвитку талантів та навичок працівників [4].

Узагальнення інформаційних систем в сучасних організаціях наведено на рис. 4.1.

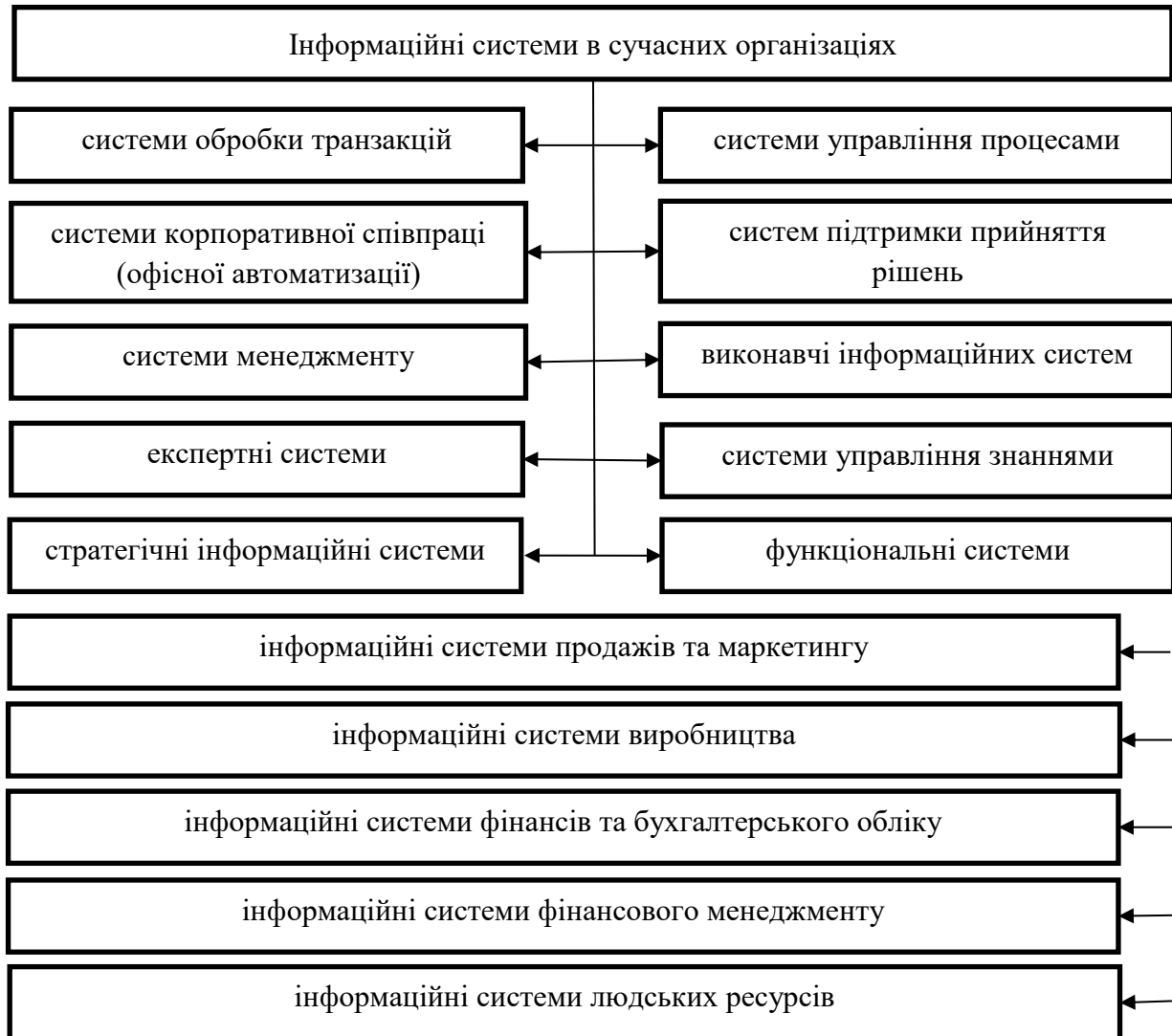


Рисунок 4.1 – Інформаційні системи в сучасних організаціях

Зростання цифрової інформації та інструментів її обробки позначаються на результативності діяльності організацій, уможлиблюють її вдосконалення та розвиток. Такий прогрес обумовлюється:

- покращенням доступу до інформації;
- широкими можливостями її обробки;
- зростанням прозорості процесів через моніторинг, спостереження, аналіз і контроль даних;
- зменшенням витрат часу, людських та фінансових ресурсів на організацію процесів;

- більш точної орієнтації та широких можливостей у пошуку ресурсів, клієнтів та постачальників;

- своєчасності (у режимі реального часу) отримання інформації для результативності реалізації організаційних процесів.

Інформаційні системи є атрибутом діяльності сучасних організацій всіх сфер.

Зростання цифрової інформації та інструментів її обробки позначаються на результативності діяльності організацій, уможлиблюють її вдосконалення та розвиток. Такий прогрес обумовлюється:

- покращенням доступу до інформації;

- широкими можливостями її обробки;

- зростанням прозорості процесів через моніторинг, спостереження, аналіз і контроль даних;

- зменшенням витрат часу, людських та фінансових ресурсів на організацію процесів;

- більш точної орієнтації та широких можливостей у пошуку ресурсів, клієнтів та постачальників;

- своєчасності (у режимі реального часу) отримання інформації для результативності реалізації організаційних процесів.

Інформаційні системи є атрибутом діяльності сучасних організацій всіх сфер.

Компанії корпоративного сектору є активними користувачами ІС. Н. Орлова та А. Удовік зазначають, що «...для сучасних підприємств корпоративні інформаційні системи є важливим засобом корпоративного управління. Виконуючи функції групування, систематизації, обробки та аналізу даних, вони допомагають успішно реалізовувати функції корпоративного управління на підприємстві та контролювати потоки інформації. Таким чином, сучасне корпоративне управління неможливе без новітніх інформаційних технологій, і головною умовою досягнення успіху в цьому є максимальна

інтеграція різних інформаційних систем, котрі повинні допомагати органам управління у забезпеченні ефективної роботи компанії» [10, с. 40].

Організації та установи державного сектору також використовують інформаційні системи для підвищення результативності своєї діяльності: «діюча інформаційна система з якісним програмно-технічним забезпеченням може бути ефективним інструментом управління соціально-економічним розвитком регіону, використовуючи який органи державної влади матимуть можливість як стратегічного планування розвитку регіону, так і щоденного інтерактивного збирання, опрацювання та виведення актуальної інформації для прийняття управлінського рішення» [11, с. 31]. У роботі Т. Тишкун наводяться аспекти зростання рівня державного управління, через застосування ІС та їх забезпечення:

«– доступності національних і світових інформаційних ресурсів для використання;

– оперативності одержання інформації для прийняття рішень, незалежно від складності вирішуваних питань і обсягів оброблюваної інформації;

– достовірності, повноти, важливості та своєчасності одержуваної інформації для прийняття рішень;

– підвищення ступеня розмежування сфер відповідальності органів державної влади та зменшення дублювання їх роботи;

– рівномірності розвитку інформаційно-аналітичної діяльності в різних сферах управління територіального й галузевого підпорядкування;

– технологізації процесів управлінської діяльності на рівні сучасних потреб державного управління і сучасного рівня розвитку інформаційних технологій у світі» [12, с. 207-208].

Дослідження місця інформаційних систем в органах МВС міститься у працях О. Бойченко [13], Л. Бортнік, В. Тимчук [14], Н. Бльок, М. Живко, О. Живко [15], М. Білоус, О. Рижов, О. Шматенко, Д. Дроздов [16]. Автори підкреслюють важливість ІС для аналізу та обробки даних та інформації в ОВС,

геоінформаційного забезпечення, логістики та ін.

Звісно, кожна сфера діяльності потребує впровадження як загальновикористовуваних інформаційних систем, так і особливих, сформованих за потребою та функціональними задачами організації.

Авіакомпанії прагнуть також до застосування інформаційних систем. «У авіації ... на даний час автоматизовані інформаційні системи (АІС) широко використовуються для вирішення найрізноманітніших завдань, починаючи від проектування повітряних суден і закінчуючи бронюванням авіаквитків» [17, с. 55]. В 1950 -х і 1960 -х роках авіакомпанії почали активну інноваційну діяльність та розробили власні ІТ -технології, щоб мати можливість обробляти бронювання рейсів та враховувати основні експлуатаційні вимоги. American Airlines заснували Sabre, Delta – Worldspan, Lufthansa – Lufthansa Systems.

О. Юдін, В. Іваннікова, С. Гирич наголошують на важливості та необхідності забезпечення безпеки інформаційних ресурсів авіапідприємств, вводячи до категоріального апарату визначення державних інформаційних ресурсів авіатранспортної системи України – «...це результати інтелектуальної та практичної діяльності суб'єктів державної та недержавної форм власності діючих, взаємодіючих для задоволення потреб суспільства в авіаційних роботах та перевезеннях, зафіксовані і систематизовані на відповідних матеріальних носіях інформації, як окремі документи і масиви документів, банки і бази даних та знань, які обробляються й передаються у інформаційних системах державного і/або загального призначення, та підлягають захисту згідно визначеної політики безпеки й чинного законодавства» [18, с. 90].

С. Гнатюк, Д. Васильєв поділяють авіаційні інформаційні системи на такі основні категорії: інформаційні системи аеронавігаційного обслуговування, бортові інформаційні системи повітряних суден, інформаційні системи авіакомпаній та аеропортів [19].

У роботі закордонних авторів [20] інформаційні системи на підприємствах авіаперевезень класифікуються за операціями (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Інформаційні системи авіапідприємств за видом операцій

Операції	Процедури інформаційної системи	Значення результату
1	2	3
Операції в аеропортах	Інформування про рейси, пасажирів	Швидке та достовірне отримання інформації на терміналі
Експлуатація літаків	Інженерія та технічне обслуговування літаків Оперативні комунікації літаків Управління екіпажем Планування польоту	Управління екіпажем та планом польотів, мінімізація небезпеки, голосовий зв'язок в режимі реального часу з екіпажем кабіни
Операції з багажем	Реєстрація багажу, обробка Відстеження багажу	Швидка доставка багажу в аеропортах
Пасажирські операції	Розширена інформація про пасажирів Реєстрація на посадку Перевірка пасажирів	Прискорення операцій оформлення пасажирів за допомогою опцій самообслуговування
Комерційне управління	Лояльність клієнтів Управління тарифами Резервування, інвентаризація та продаж квитків Оптимізація доходів	Збільшення клієнтської бази, економія ресурсів, результативність процесу прийняття рішень, пов'язаних з тарифами, збільшення продажів та контроль за фінансовими показниками
Вантажні операції	Управління вантажами Управління бізнесом та доходами вантажоперевезень Митні операції	Управління вантажоперевезеннями, контроль за переміщенням вантажів по всьому світу, автоматизація ланцюжка поставок, полегшення митного оформлення
Безпека польотів	Перевірка пасажирів Розширена інформація про пасажирів	Максимальний контроль пасажирів
Комунікації та інфраструктура	Просування Управління інфраструктурою Мобільність	Забезпечення електронного листування з клієнтами, які живуть у всьому світі

Джерело: за даними [20]

У роботі [21] автори встановлюють чотири етапи еволюції автоматизації комерційної авіації:

- перша еволюційна стадія Aviation 1.0 – польоти відбувалися за правилами візуального польоту, слідуючи візуальним підказкам та сигналам, і практично не було жодної інструментальної допомоги пілотам;
- на другому етапі Aviation 2.0 – застосування електричних пристроїв;
- третій етап Aviation 3.0 – масове підключення електроніки в кабіну

пілотів;

- Aviation 4.0 – розробка кібер-фізичних систем (CPS), які здатні допомогти у прийнятті рішення та самостійно виконувати завдання, створення цифрового та розумного літака.

Приділяючи увагу Aviation 4.0, автори [21] наводять приклади кіберкомпонентів: прогноз погоди/трафіку, алгоритми планування/оптимізації польоту, повідомлення про технічне обслуговування/коди несправностей, реєстратор швидкого доступу (QAR) польоту та параметри системи, журнали дій з технічного обслуговування/результати випробувань, управління даними та інформацією в режимі реального часу, програмне забезпечення поінформованості про ситуацію та прийняття рішень тощо. В межах концепції Aviation 4.0 пропонуються актуальні напрями застосування інформаційних систем:

- автоматизація польотів;
- надійність прогнозного обслуговування літаків;
- системи когнітивно-обчислювальних оцінок безпеки;
- оновлення інформації про погодні умови в режимі реального часу;
- покращення пошуково-рятувальних операцій, особливо в океанічному або віддаленому районі [21].

Слід зауважити, що підвищення безпеки авіаційних підприємств є одним із найважливіших завдань, адже, на відміну від інших галузей транспорту, авіаційні аварії призводять до значних втрат персоналу та майна. За даними розслідування авіакатастроф, близько 45% аварій були спричинені поганими погодними умовами. Тому фактори, що впливають на безпеку авіаційної галузі, дуже складні [22]. Інші автори підкреслюють, що авіаційна безпека визначається технічними характеристиками аерокосмічної продукції, метеорологічним середовищем та управлінням авіацією. Технічні характеристики літаків включають багато галузей, таких як проектування, виробництво, експлуатація та обслуговування літаків, і це є основою для

забезпечення авіаційної безпеки [23].

Отже, застосування інформаційних систем в авіації є широким і охоплює технології автоматизації, Інтернет речей, штучного інтелекту, когнітивних обчислень, аналіз великих даних. При цьому, економічні процеси вимагають застосування ІС у забезпеченні конкурентоспроможності авіакомпаній, оптимізації витрат, ціноутворення та інших сферах прийняття управлінських рішень. Доцільним з цієї точки зору є звернення до інтелектуальних інформаційних систем.

4.2 Характеристика інтелектуальних інформаційних систем, як сучасного інструмента економічної діяльності авіакомпаній

Інтелектуальні інформаційні системи (ІС) в економіці є інструментом роботи з системами управління базами економічних даних з використанням технології штучного інтелекту. Через такі процеси відбувається не тільки зберігання економічної інформації, а також її обробка і систематизація для прийняття управлінських рішень. «ІТ відіграють істотну роль у підвищенні якості управління розвитком суб'єктів господарювання. Вони допомагають підприємствам досягати поставлених цілей, автоматизуючи виробничі процеси, забезпечувати виконання стандартів, удосконалювати продукти на основі аналізу попиту споживачів, знижувати час виготовлення продукції, скорочувати терміни розробки проєктів. Застосування сучасних комп'ютерних та інформаційних технологій забезпечує надійний апарат формування стратегічного мислення менеджментської служби та його ефективного реалізації в процесі розвитку виробництва підприємства» [24].

Перевагою інтелектуальних інформаційних систем є те, що вони дозволяють приймати рішення з такою ж якістю, як один або більше експертів в конкретній галузі, з більшою швидкістю обробки інформації, більш низькою вартістю та більшою відповідністю результатів завданню, ніж консультування з

групою фахівців.

Для інтелектуальних інформаційних систем характерні такі ознаки:

- розвинені комунікативні здібності: можливість обробки довільних запитів в діалозі на мові, максимально наближеній до природньої (система природно-мовного інтерфейсу - СПМІ);

- спрямованість на рішення слабоструктурованих, погано формалізованих задач (реалізація м'яких моделей);

- здатність працювати з невизначеними і динамічними даними;

- здатність до навчання системи і вилучення знань з накопиченого досвіду конкретних ситуацій;

- можливість отримання і використання інформації, яка явно не зберігається, а виводиться з наявних в базі даних;

- система має не тільки модель предметної області, а й модель самої себе, що дозволяє їй визначати межі своєї компетентності;

- здатність до висновків за аналогією;

- здатність пояснювати свої дії, невдачі користувача, попереджати користувача про деякі ситуації, що призводять до порушення цілісності даних.

Отже, на відміну від звичайних аналітичних і статистичних моделей, ПС дозволяють отримати рішення важко формалізованих слабо структурованих задач, що передбачає наявність наступних якостей:

- вирішення завдання, коли залежності між основними показниками є не цілком визначеними або навіть невідомими в межах деякого класу;

- здатність до роботи з невизначеними або динамічними даними, що змінюються в процесі обробки, що дозволяє використовувати ПС в умовах, коли методи обробки даних можуть змінюватися і уточнюватися в міру надходження нових даних;

- здатність до навчання системи і вилучення знань з накопиченого досвіду конкретних ситуацій збільшує мобільність і гнучкість системи, дозволяючи їй швидко освоювати нові області застосування.

Відмінні риси ІС в порівнянні зі звичайними ІС полягають у наступному:

- інтерфейс з користувачем на природній мові з використанням бізнес-понять, характерних для предметної області користувача;
- здатність пояснювати свої дії і підказувати користувачу, як правильно ввести економічні показники і як вибрати відповідні до його задачі параметри економічної моделі;
- представлення моделі економічного об'єкта і його оточення у вигляді бази знань і засобів дедуктивних і правдоподібних висновків в поєднанні з можливістю роботи з неповною або неточною інформацією;
- здатність автоматичного виявлення закономірностей розвитку бізнесу в раніше накопичених фактах і включення їх в базу знань.

Діапазон застосування ІС надзвичайно широкий: від управління безперервними технологічними процесами в реальному часі до оцінки наслідків від порушення умов поставки товарів за імпортом.

Значною сферою застосування ІС в авіаційних підприємствах є економічна. Це викликано й тим, що умови невизначеності, мінливості є атрибутом діяльності авіаційних підприємств. Вони надзвичайно залежні від впливу зовнішніх факторів, законодавчих обмежень у зміні цін на паливо, вартість робочої сили, політичних та економічних детермінантів, які визначають попит на авіаперевезення. Так, глобальна економічна криза, що розпочалася у 2008 році, позначилася на трансформації стратегій авіакомпаній, виборі між набуттям у власність або орендою літаків, оптимізації структури витрат. Підприємства галузі мають забезпечувати гнучкість у виборі маршрутів, застосовувати Інтернет-ресурси для поширення послуг. Зростання купівельної спроможності домогосподарств середнього класу, особливо в регіонах, що розвиваються, простота подорожей, урбанізація та зміни способу життя та уподобань споживачів із широкою доступністю смартфонів спонукають до вироблення адаптивної до вимог політики [25].

Так, як і інші галузі, авіапідприємства спрямовані на досягнення

прибутковості та конкурентоспроможності, зниження ризику.

Прибутковість авіапідприємств пов'язана із високими витратами, обумовленими експлуатацією та управлінням літаками. Фахівці [23] вказують на значну вартість літаків, витрати на пальне та обслуговування літаків.

Зниження ризику впливає на нівелювання економічної та майнової шкоди авіакомпаніям. Тому важливим є тісний зв'язок економічних систем з системами безпеки, які спрямовані на зменшення авіаційних аварій.

Конкурентоспроможність авіапідприємств полягає у досягненні переваг у порівнянні із іншими транспортними галузям. Закордонні дослідники цивільної авіації Китаю [26, 27], вказують на зростаючий конкурентний тиск високошвидкісних залізниць.

Процес координації та управління економічними параметрами авіаційних підприємств складний та вимагає системного підходу за операціями польотів літаків, аеропортів, повітряного руху, обслуговування клієнтів тощо. Результативно організована система управління дозволяє оптимізувати експлуатаційні витрати авіаційного підприємства. Управлінські інтелектуальні інформаційні системи авіаційним підприємством включають:

- управління авіаційною логістикою перевезень;
- управління операціями та обслуговуванням клієнтів.

Авіаційна логістика пов'язана із питаннями безпеки та покращенням показників експлуатації літаків. Штучний інтелект надає можливість швидше та ефективніше обробити інформацію та дозволяє підвищувати результативність планування польотів, збільшуючи дохід авіакомпаній.

Розглядаючи питання авіаційної логістичної діяльності, О. Цимбалістова відзначає необхідність:

- забезпечення розроблення та побудову інтегративних логістичних структур ... авіаційних підприємств;
- упровадження надбань міжнародного досвіду в систему логістичного управління ...;

- запровадження інтегрованих систем доставки вантажів та особового складу на базі якісної взаємодії складників логістичного ланцюга доставки та автоматизації логістичних операцій;
- поліпшення скоординованості під час управління рухом матеріальних та інформаційних потоків авіаційних підрозділів;
- робота над оптимізацією системи повітряних перевезень вантажів та особового складу;
- підготовка висококваліфікованих вузьких спеціалістів у сфері логістичного управління авіаційними підрозділами;
- масштабна автоматизація і створення засобів інформаційної та інтелектуальної підтримки прийняття управлінських рішень щодо логістичного забезпечення авіаційних підрозділів. Упровадження автоматизованої системи управління логістичним забезпеченням необхідно проводити на базі промислових ERP-систем, котрі набули широкого використання в провідних країнах світу та НАТО» [28].

Бази оброблювальних даних також включають показники попиту на рейси, кількості клієнтів рейсів, що дозволяє не тільки обирати затребувані та прибуткові маршрути, а й обґрунтовано підходити до вибору екіпажу, літака або найбільш підходящого терміналу в аеропорту. Наприклад, компанія Veontra розробила моделі інтегрованого планування пропускнуої спроможності, трафіку та доходів для планування діяльності аеропортів [25]. Інтелектуальні інформаційні системи дозволяють прогнозувати показники та приймати обґрунтовані управлінські рішення.

Авіаційні операції та управління послугами клієнтам безпосередньо визначають рентабельність авіатранспортних компаній через оптимізацію витрат. «Низькотарифні авіакомпанії постійно підтверджують той факт, що ціна авіаквитка для пасажера – головне в конкурентоспроможності авіакомпанії. Тому вони вдосконалюють управління компаніями, щоб стримувати зростання собівартості та, відповідно, зростання тарифів.

Важливим для клієнтів є і наземна інфраструктура. Авіакомпанії повинні звертати увагу на обслуговування клієнтів в аеропорту. Мається на увазі своєчасна видача вантажів, дорога до аеропорту, готель, прилегла до нього територія та інше...Негативно може позначитися на іміджі авіакомпанії також економія на харчуванні...Таким чином, правильна маркетингова кампанія безпосередньо впливає на розвиток авіакомпанії, на її прибутковість та кількість пасажирів, визначає її конкурентоспроможність в авіаційній галузі» [29, с. 445].

Інтелектуальні інформаційні системи у цьому процесі дозволяють узгодити попит та пропозицію продуктів і послуг авіакомпаній, використовуючи можливості, які надають Інтернет-платформи з точки зору ефективності охоплення клієнтів без необхідності великих інвестицій у інфраструктуру збуту.

Через інтелектуальні інформаційні системи відбувається поглиблення знань авіакомпаній про клієнтів, що дозволяє збільшити доходів шляхом передбачення затребуваних послуг. Задля цього сучасними підприємствами галузі використовуються нові платформи цифрових послуг, які дозволяють:

- запускати чат-боти;
- технології відстеження багажу (починаючи з моменту реєстрації багажу до хвилини прибуття до місця призначення) через спеціалізовані додатки;
- бронювання місць та бронювання багажу (наприклад, функцію вибору місця на рейсі);
- надавати послуги цифрового консьєржа за допомогою технології багатомовного чат-бота;
- попереднє замовлення та самовивіз після прибуття продукції безмитної торгівлі;
- попередньо замовляти їжу в аеропорту та забирати її на шляху до терміналу, що дозволяє поширити та покращити пропозицію продуктів

харчування та напоїв в аеропорту та вирішує проблему неякісної, але високої вартості їжі авіакомпаній під час польотів. American Airlines вже вирішили включити цю пропозицію до своєї пропозиції клієнтів;

- запровадити програму для отримання більш детальної інформації про клієнтів та побудувати план дій для підвищення задоволеності клієнтів, використовуючи технології інтелектуальних інформаційних систем;

- біометричну ідентифікацію під час контролю безпеки, яка розмовляє з клієнтами мовою їх паспорта.

Стимулювання залучення клієнтів на цифрові платформи здійснюється і через надання знижок або бонусів. Так, Lufthansa British Airways та Air France надають привілеї за кожне бронювання, здійснене за допомогою глобальних систем розповсюдження (GDS), таких як Amadeus та Sabre. Вони хочуть, щоб клієнти здійснювали бронювання безпосередньо через веб-сайти для кращого розуміння клієнтів, контролю їх досвіду польотів, пропонування допоміжних послуг та запровадження більш гнучких цін [25].

Таким чином, управління доходами та ціноутворення дедалі все більше переходить на цифрові канали, які реалізують продаж квитків, допоміжних послуг та послуг лояльності, формуючи базу знань про клієнтів тощо.

За адаптивністю розрізняють інтелектуальні інформаційні системи типу нейронних мереж, тобто системи, параметри, а можливо структура яких можуть змінюватися в процесі навчання або самонавчання, і інтелектуальні інформаційні системи, параметри яких змінюються адміністратором бази знань. Цифрові платформи авіапідприємств використовують штучний інтелект, машинне навчання, Інтернет речей та використовують їх в інструментах розширеної аналітики, гнучкому управлінні (Agile Management), аналізі задоволеності клієнтів (Customer Journey Analysis).

Тривалий час управління взаємовідносинами з клієнтом залишалося ефективним інструментом маркетингу та показувало свою результативність. Аналіз задоволеності клієнтів складається із зіставлення та аналізу сукупності

всього досвіду, який клієнт отримує при взаємодії з компанією або брендом. Його мета – надати інформацію, яку компанії можуть використовувати для розробки продуктів і послуг, що допоможуть клієнтам досягти своїх цілей максимально ефективно і дієво. Технологія оцінки задоволеності клієнтів міститься у інструменті управління взаємовідносинами з клієнтами (CRM). Авіакомпанії використовують її для збору інформації щодо персоналізації досвіду пасажирів та прогнозування їх ймовірної поведінки в майбутньому з метою подальшого забезпечення більш високого рівня обслуговування клієнтів та зростання лояльності.

CRM дозволяє авіакомпаніям визначити напрями адресної розсилки пасажиром персоналізованих пропозицій щодо рейсів як до нових, так і регулярно відвідуваних пунктів призначення, що підвищує результативність маркетингу та просування продажів.

Оскільки CRM також відстежують покупку додаткових послуг, авіакомпанії можуть персоналізувати додаткові пропозиції пасажиром. Крім того, використовуючи CRM для ідентифікації пасажирів, які зіткнулися з проблемами у подорожі, авіакомпанії можуть більш оперативно та ефективно запропонувати компенсацію. Відстеження таких аспектів та передбачення потреб та побажань клієнтів підвищує ймовірність того, що пасажир оцінить сервіс авіакомпанії та знову скористується її послугами. Зробивши максимально спрощеним збір інформації про пасажирів, авіакомпанії не тільки формують стабільне клієнтське поле, а й забезпечують собі стабільний дохід.

Гнучкий менеджмент, в якому використовуються адаптивні методи, вперше розроблені японськими виробниками для підвищення цінності інновацій, користується популярністю серед розробників програмного забезпечення. Це нова концепція для багатьох менеджерів авіапідприємств, вона ще не отримала широкого поширення, але високі оцінки її задоволеності серед тих, хто її використовує, вказують на подальше зростання.

У поєднанні з розширеною аналітикою Інтернет речей – мережа

підключених датчиків і інтелектуальних пристроїв, що виробляють дані, - може стати потужним інструментом, що допомагає контролювати стан літаків та покращувати продукти та послуги.

Управління бізнес-процесами (BPM) – це структуроване програмне рішення з метою моделювання та оптимізації поточної діяльності організації, узгодження та результативної взаємодії її процесів. Враховуючи, що зовнішнє та внутрішнє середовище авіакомпаній мінливе та неоднорідне, BPM може вирішити проблему інтеграції різноманітних систем. Крім того, доступ до різноманітних джерел даних є набагато простішим, враховуючи сумісність великої кількості запитів. Нові технології на основі BPM дозволяють моделювання бізнес-процесів безпосередньо аналітиками (тобто оперативними менеджерами, персоналом фінансово-економічних служб) без підтримки ІТ-відділів.

Важливою є і система планування ресурсів (ERP) авіакомпаній. ERP системи інтегрують весь ланцюжок поставок, що спрощує економічні функції та обмін інформацією. Сфера застосування ERP включає інструменти для електронної комерції, вирішує проблеми, пов'язані з управлінням відносинами з клієнтами та постачанням. Система надає інформацію та документи для оперативних менеджерів в режимі реального часу, що дозволяє аналізувати економічні показники та їх прогнозувати. В результаті менеджери здійснюють більш глибокий та ретельний контроль, що призводить до збільшення продуктивності праці.

У цій сфері інтелектуальне управління та операції на основі баз великих даних мають значні переваги. Тому платформа великих даних для управління авіаційним підприємством відіграє важливу роль. «Все частіше Big data стають комерційним інструментом та інструментом стратегічного планування. Оскільки бізнес-ландшафт стає більш конкурентоспроможним, компанії більше не можуть собі дозволити неефективність, яка коштує їм часу і грошей. Цифрове перетворення за допомогою даних дає можливість організаціям,

особливо тих, які мають високу вартість активів, підвищити операційну ефективність. Так, літаки та виробниче обладнання нині оснащують датчиками, що вимірюють їх експлуатаційні характеристики. Це дає можливість авіакомпаніям розробити плани профілактичного обслуговування та продовжити термін служби своїх літаків» [30, с. 52]. Завдяки побудові авіаційної інформаційної платформи з великими даними та інформаційної системи, а також використанню методів багат шарового аналізу кореляції мережі можна значно покращити безпеку та продуктивність літаків.

Великі дані дозволяють ефективно вирішувати проблеми та використовувати широке коло інструментів, окреслюючи взаємозв'язки та взаємодію показників авіаційної сфери [31, 32]. Інтелектуальні системи інформаційних технологій із застосуванням баз великих даних значно покращують можливості прогнозування та контролю ризиків авіаційних компаній [33, 34], збільшують можливості прогнозування існуючих моделей авіаційної безпеки [35, 36, 37].

Великі дані сприятимуть розвитку авіаційної промисловості. Вони відіграють велику роль у покращенні конструкції та продуктивності літаків, експлуатації та попередженні несправності літаків та їх обслуговуванні, плануванні маршрутів та управлінні повітряним рухом, середовищі та безпеці польотів, управлінні польотами та аеропортами, управлінні екіпажами, управлінні логістикою авіації, авіаційними операціями та управлінням обслуговуванням. Це позитивно впливає на прибутковість, конкурентоспроможність та зниження ризику авіаційних підприємств, забезпечуючи прийняття більш ефективних управлінських рішень та якість надання послуг. Узагальнення наведених положень представлено на рис. 4.2.

Таким чином, автоматизація економічних процесів в авіакомпаніях допомагає скорочувати витрати, покращувати відносини з клієнтами, покращувати фінансові показники діяльності. В авіаційній компанії широко використовуються різноманітні додатки через оцифрування різних процедур та

даних. Процеси, які виконують інформаційні системи, дозволяють планувати та прогнозувати польоти, управляти екіпажем або витратами палива.

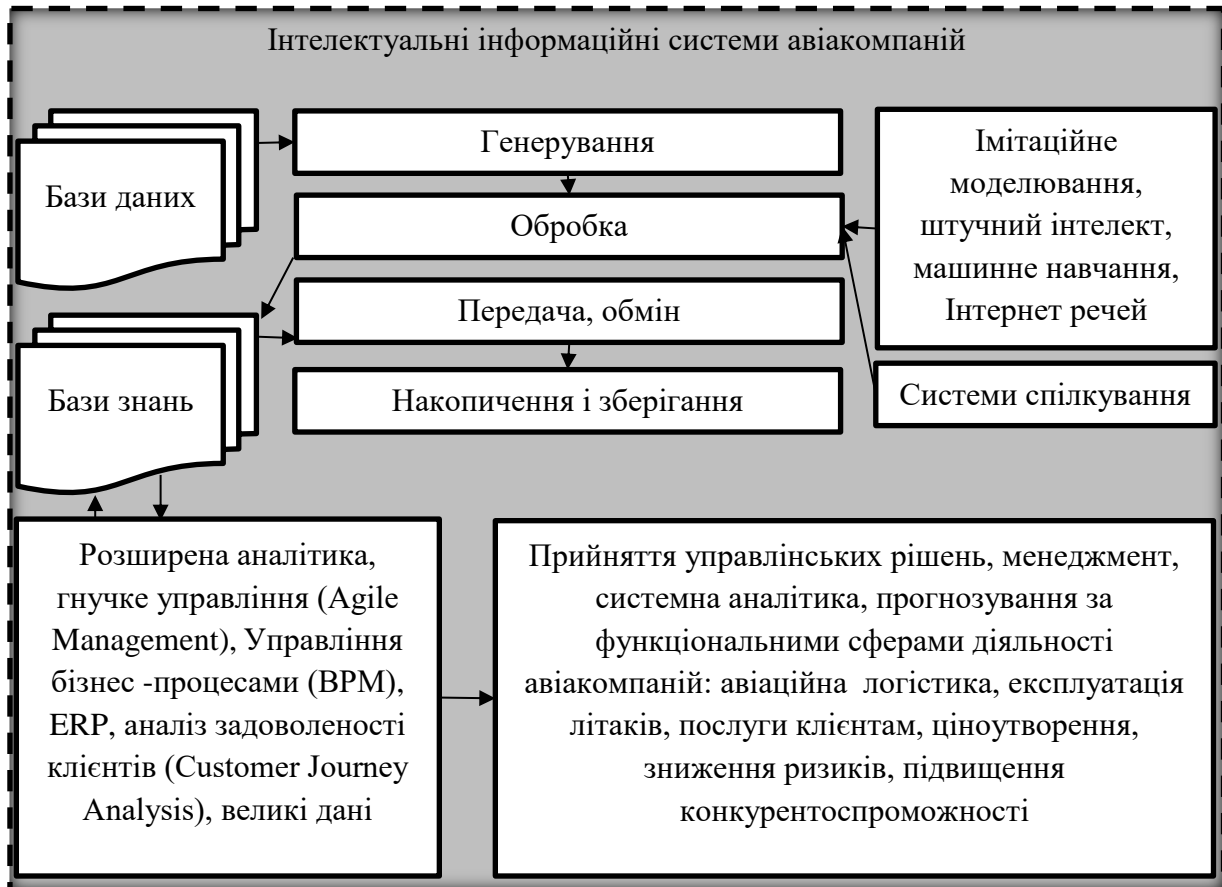


Рисунок 4.2 – Інтелектуальні інформаційні системи у економічній діяльності авіакомпаній

Аналіз великих даних за останні кілька років дозволяє реалізувати функціональні можливості, засновані на машинному навчанні, поєднанні різноманітних джерел даних, включаючи не тільки дані про авіакомпанію чи погодні умови, а й дані про управління повітряним простором. Інтелектуальні системи є комплексними, дозволяють аналізувати різноманітні набори даних та використовувати історичну поведінку системи для прогнозування та рекомендацій оперативних рішень для авіакомпаній, аеропортів та провайдерів аеронавігаційних послуг.

В умовах конкуренції авіакомпанії мають приділяти увагу інтелектуальним інформаційним технологіям, які забезпечують більшу операційну ефективність та формують стратегічне бачення розвитку. Отже, цифрова трансформація, яка інтегрує цифрові технології в стратегію та операції авіапідприємств, дозволяє знизити складності планування сценаріїв у непередбачуваних обставинах

4.3 Аналіз стану авіакомпаній України для виявлення ключових проблем економічної діяльності

Для планування інтелектуальних інформаційних систем необхідно виходити з тих проблем, які стоять перед організацією. «Цивільна авіація в умовах глобалізації світової економіки є важливим елементом інтеграції України в сучасну систему міжнародних економічних зв'язків. Окрім цього, вона має велике значення для розв'язання соціально-економічних задач та підвищення якості життя населення країни» [38, с. 80]. При цьому дослідники звертають увагу на залежність галузі авіаційного транспортування від факторів зовнішнього середовища. Так, колектив авторів [38] наголошують, що «...нині наявний потенціал використовується недостатньо, а сама авіаційна галузь перебуває під впливом зростаючих проявів системної кризи» [38]. Інші зауважують про те, що «на сьогоднішній день значний негативний вплив на діяльність авіатранспортних підприємств України здійснюється такими зовнішніми факторами, як нестабільна політична ситуація, небезпека польотів через військовий конфлікт на сході країни, спад економіки країни» [39, с. 166].

Звертаючись до стану авіакомпаній України, проаналізуємо кількість суб'єктів господарювання галузі у 2010-2019 роках.

За даними табл. 4.2 кількість авіакомпаній в Україні зростала у 2013 р. (за рахунок пасажирських авіакомпаній), у 2015 р. та у 2019 р. (за рахунок пасажирських та вантажних авіакомпаній).

Таблиця 4.2 – Приріст кількості суб’єктів господарювання галузі авіаційного транспортування у 2010-2019 роках

Сфера галузі	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
авіаційний транспорт	-18%	-2%	8%	-9%	5%	-7%	-4%	-5%	6%
пасажирський авіаційний транспорт	-17%	-8%	17%	-10%	2%	-9%	0%	-8%	5%
вантажний авіаційний транспорт	-19%	10%	-2%	-7%	10%	0%	-11%	0%	7%

У цілому, варіативність зміни кількості вантажних авіакомпаній є нижчою у порівнянні із пасажирськими (рис. 4.3).

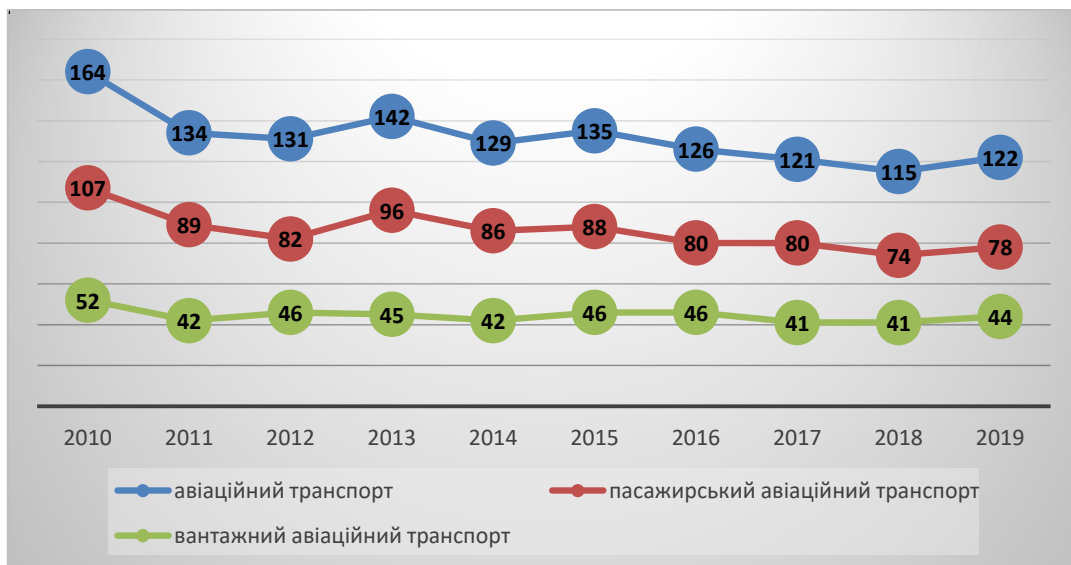


Рисунок 4.3 – Динаміка кількості суб’єктів господарювання галузі авіаційного транспортування у 2010-2019 роках (побудовано за даними Державної служби статистики України [40])

При цьому обсяг перевезених вантажів за видами транспорту досяг пікового значення у 2012 р., хоча у 2018-2019 рр. відбувається зростання показника (рис. 4.4). При цьому, питома вага вантажного перевезення авіатранспортом залишається значно малою – лише 0,01% (рис. 4.5).

Позитивним зрушенням у системі авіаперевезень є зростання кількості перевезених пасажирів авіатранспортом протягом 2016–2019 рр. (рис. 4.6).

Проте, у загальному перевезенні пасажирів у 2019 році авіатранспорт складає лише 0,3% (рис. 4.7).

Пояснення незначного обсягу перевезень авіатранспортом криється у низці факторів.

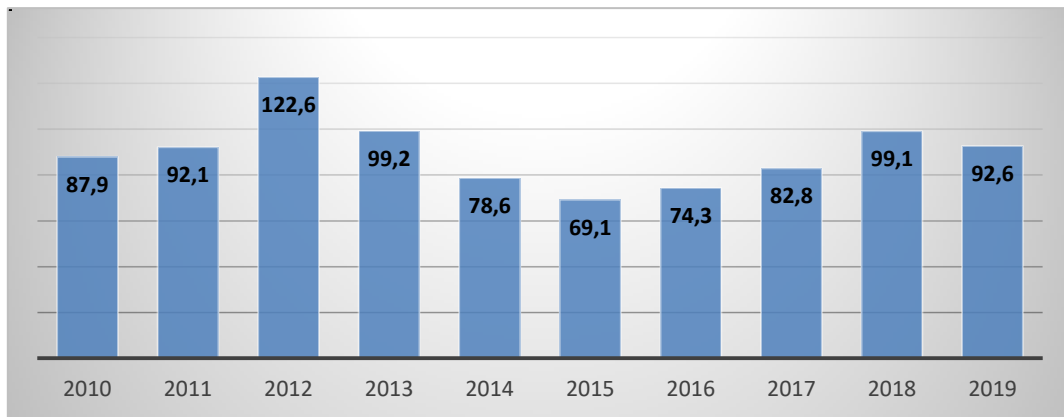


Рисунок 4.4 – Обсяг перевезених вантажів авіатранспортом, тис. т (побудовано за даними Державної служби статистики України [40])

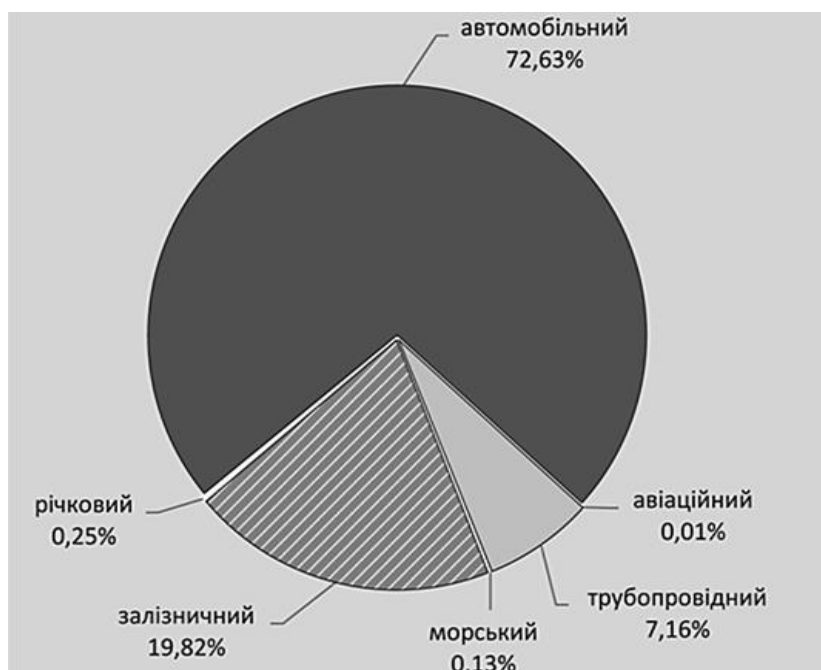


Рисунок 4.5 – Питома вага окремих видів транспорту в перевезенні вантажів у 2019 році [40]

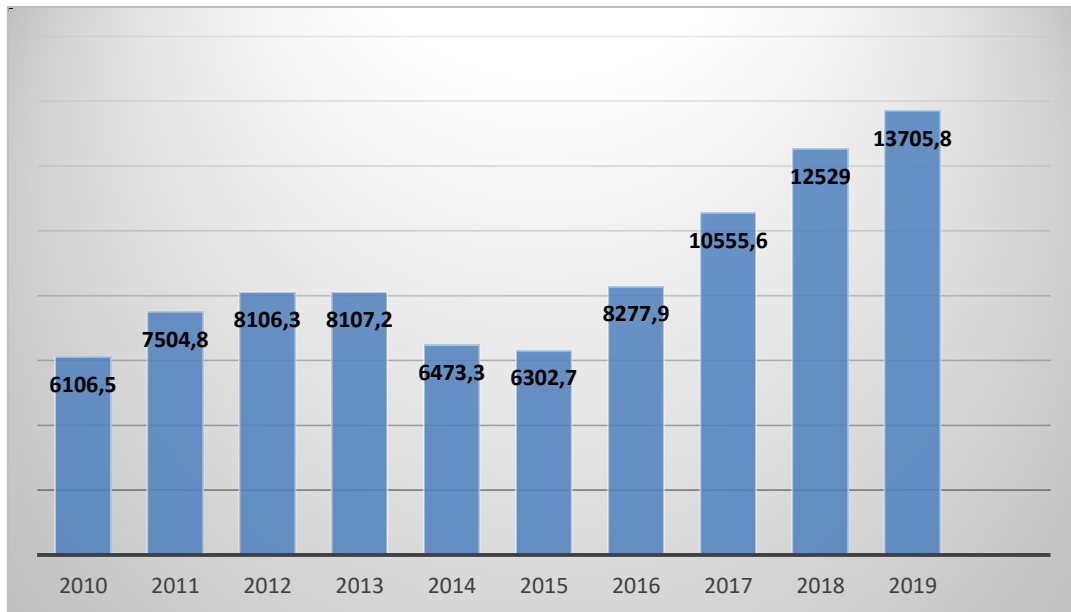


Рисунок 4.6 – Кількість перевезених пасажирів авіатранспортом, тис пасажирів
(побудовано за даними Державної служби статистики України [40])

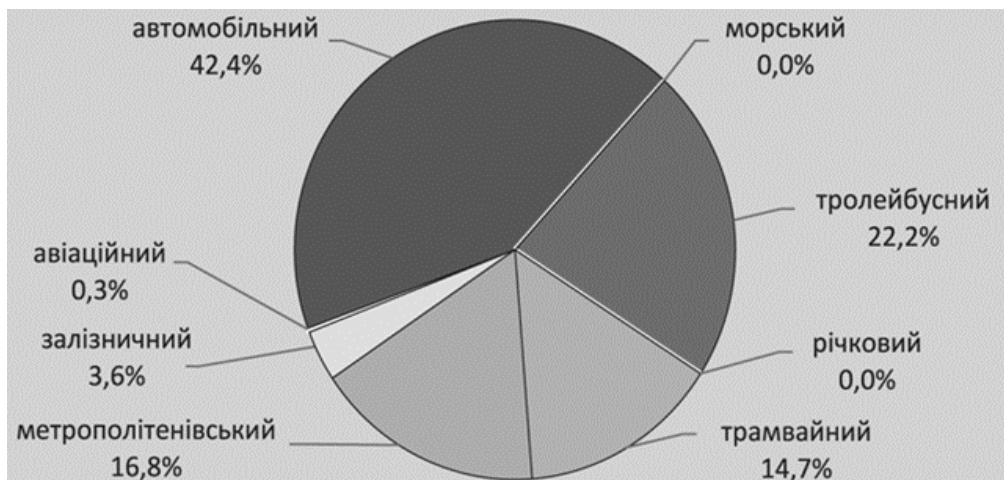


Рисунок 4.7 – Розподіл окремих видів транспорту у загальному перевезенні пасажирів у 2019 році [40]

О. Іваницька та Г. Гадіяк вважають, що до таких факторів належать:

- «нестабільність кон'юнктури зовнішніх ринків, що впливає і на активність перевезення авіатранспортом пасажирів і вантажів;

- криза внутрішнього ринку авіаційної техніки, пов'язана з недостатньою кількістю коштів в авіаційних компаній для оновлення парку повітряних суден;
- відсутність в авіаційній галузі власних фінансових ресурсів, потрібних для її розвитку;
- нерозвиненість кредитних механізмів і лізингу з фінансування виробництва і постачання авіаційних суден;
- відсутність стимулів для вітчизняних та іноземних компаній до інвестування в авіаційно-будівельну промисловість;
- недостатнє та неповне фінансування робіт, передбачених державною цільовою програмою розвитку цивільно-авіаційної техніки України, що призвело до недотримання термінів виконання низки робіт зі створення нового покоління вітчизняних цивільних повітряних суден;
- падіння інтелектуального потенціалу науково-дослідних інститутів, конструкторських бюро і підприємств, що виробляють серійну продукцію, переривання процесу зміни поколінь авіаційних учених, інженерів, техніків і висококваліфікованих робітників;
- посилення конкуренції як на зовнішньому, так і на внутрішньому ринку з боку закордонних авіапромислових компаній» [41].

Н. Соловей до чинників, які призвели до низького попиту на авіаперевезення відносить: військовополітичну ситуацію в державі на сьогодні; анексію Криму та пов'язане з цим погіршення загального стану сучасної економічної кон'юнктури [42].

Погоджуючись із суттєвим впливом політичних та макроекономічних факторів, слід наголосити і на значному фізичному та моральному зносі основних фондів авіакомпаній. Так, протягом 2015-2018 рр. рівень зносу складав більше 60%, а оновлення основних фондів відбулося лише у 2019 р. (рис. 4.8).

Звісно проблема оновлення та модернізації основних фондів авіатранспортних підприємств пов'язана із фінансовими можливостями,

потенціалом компаній і їх здатності залучати інвесторів.

Динаміка капітальних інвестицій у авіакомпанії у 2016-2019 рр. має тенденцію до зростання (рис. 4.9), що викликає позитивний настрій щодо перспектив їх розвитку.

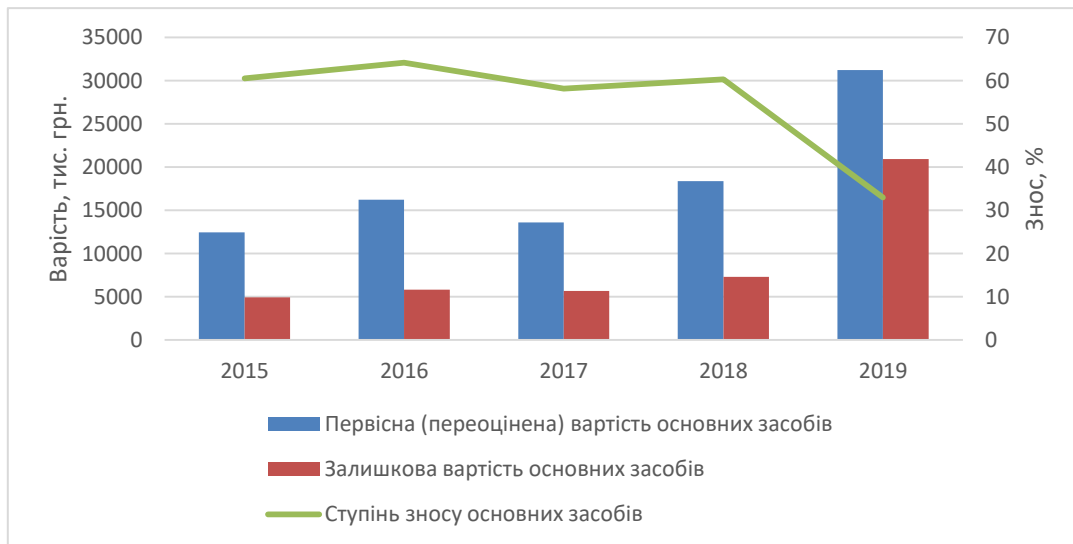


Рисунок 4.8 – Вартість основних фондів авіакомпаній та їх знос (побудовано за даними Державної служби статистики України [40])

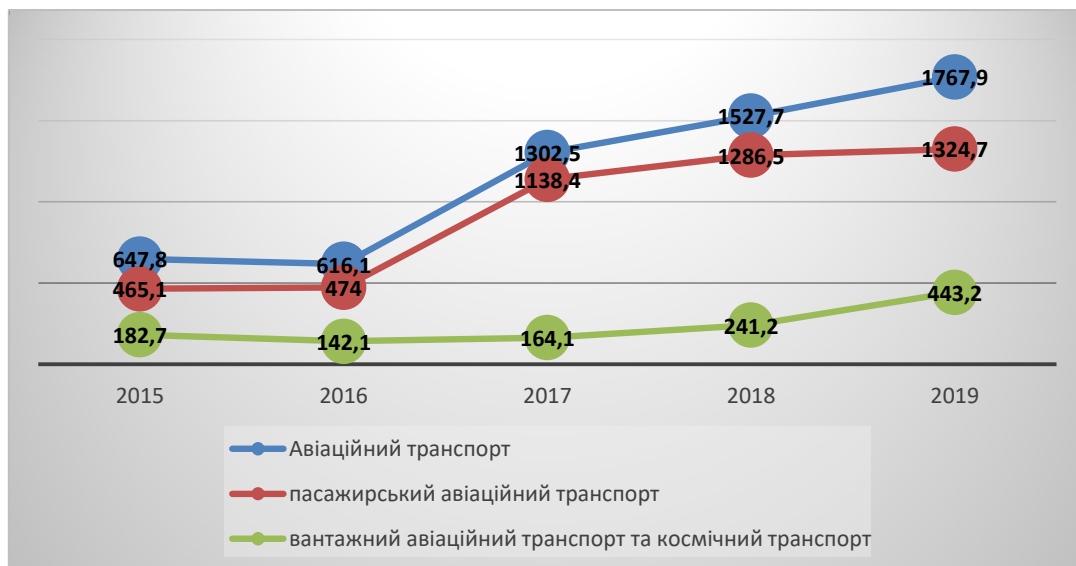


Рисунок 4.9 – Динаміка капітальних інвестицій авіакомпаній, млн грн (побудовано за даними Державної служби статистики України [40])

Тенденції у наданих послугах з авіаперевезень віддзеркалюються на фінансових результатах авіакомпаній, тому аналізу фінансового стану слід приділяти суттєву увагу: «...тільки систематичне та усебічне оцінювання фінансового стану авіатранспортних підприємств України дасть змогу швидко реагувати на економічні та політичні зміни в процесі проактивного управління. Саме розуміння фінансового стану авіакомпаній, своєчасний і якісний аналіз, вибір необхідного методу аналізу та системи показників, що забезпечить всебічне вивчення та представлення діяльності підприємства, є основоположними для прийняття управлінських рішень, спрямованих на вирішення питань щодо обрання напрямів діяльності та розвитку авіатранспортних підприємств України, покращення ефективності, конкурентоспроможності та прибутковості на ринку авіаційних перевезень» [42, с. 271-272].

Позитивний фінансовий результат авіатранспортні підприємства України отримали лише у 2016 р. та у 2019 р., у той час як 2015 р. та 2017-2018 рр. характеризувалися збитковою діяльністю (рис. 4.10).

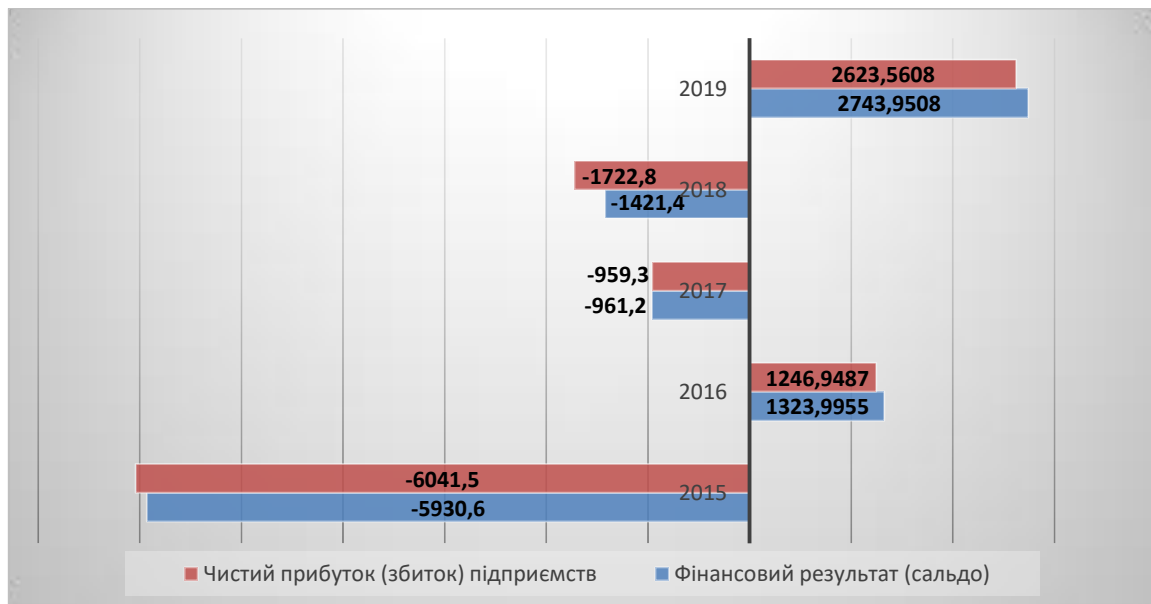


Рисунок 4.10 – Фінансовий результат (сальдо) авіакомпаній України, млн. грн (побудовано за даними Державної служби статистики України [40])

Рентабельність операційної діяльності у 2016 р. та у 2019 р. складала 3,4% та 3,2% відповідно, рентабельність всієї діяльності у цих роках була дещо вищою – 3,7% та 4,9% відповідно (рис. 4.11).

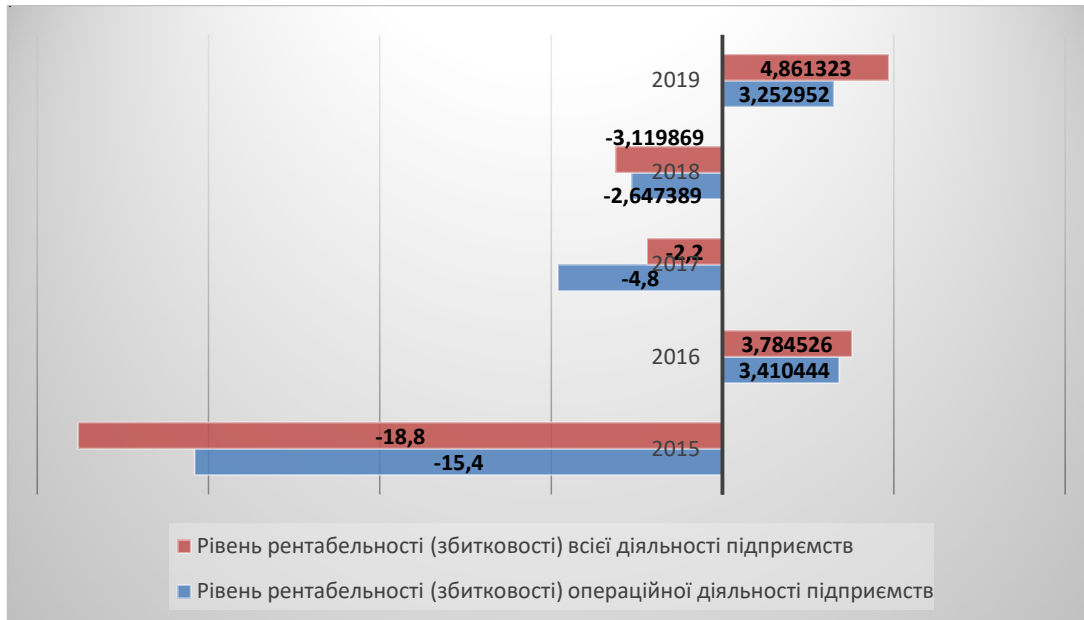


Рисунок 4.11 – Рентабельність операційної та всієї діяльності авіакомпаній України, % (побудовано за даними Державної служби статистики України [40])

Як відзначають вчені, «економічне становище авіапідприємств України багато в чому залежить від кон'юнктури зовнішніх ринків. Нестабільні показники відновлення ділової активності економік країн, що є основними споживачами української продукції, в останні роки були одним із ключових чинників, що негативно впливали на авіаційну галузь» [41].

Окрім фактору виручки, на рівень рентабельності впливає і собівартість. «Найбільший вплив на формування собівартості діяльності авіакомпаній становлять інші операційні витрати, куди відносяться витрати на технічне обслуговування та ремонт, витрати на покриття зборів з клієнтів та аеродромні витрати, у тому числі: витрати, пов'язані з системою зборів за аеропортове

обслуговування посадки, технічне обслуговування ПС, пасажирів та обробку вантажів, пошти і багажу, розміщення ПС на пероні з наданням аеронавігаційного обслуговування; аеродромні витрати, витрати на обслуговування пасажирів; витрати на харчування пасажирів на борту ПС; витрати, пов'язані з обслуговуванням пасажирів на борту ПС; інші витрати, пов'язані з обслуговуванням пасажирів, витрати на оформлення квитків, продаж та рекламу, всього, у тому числі: витрати на рекламу; інші витрати» [43].

Разом з тим, неефективність діяльності авіакомпаній можна пояснити нераціональною структурою їх обігових активів: якщо протягом 2014-2017 рр. питома вага дебіторської заборгованості в них складала 45-49%, то у 2019 р. вона збільшилася до 64,8% (рис. 4.12). При цьому, частка грошових коштів скоротилася майже в 2 рази (рис. 4.12), що зменшує платоспроможність і ліквідність авіакомпаній України.

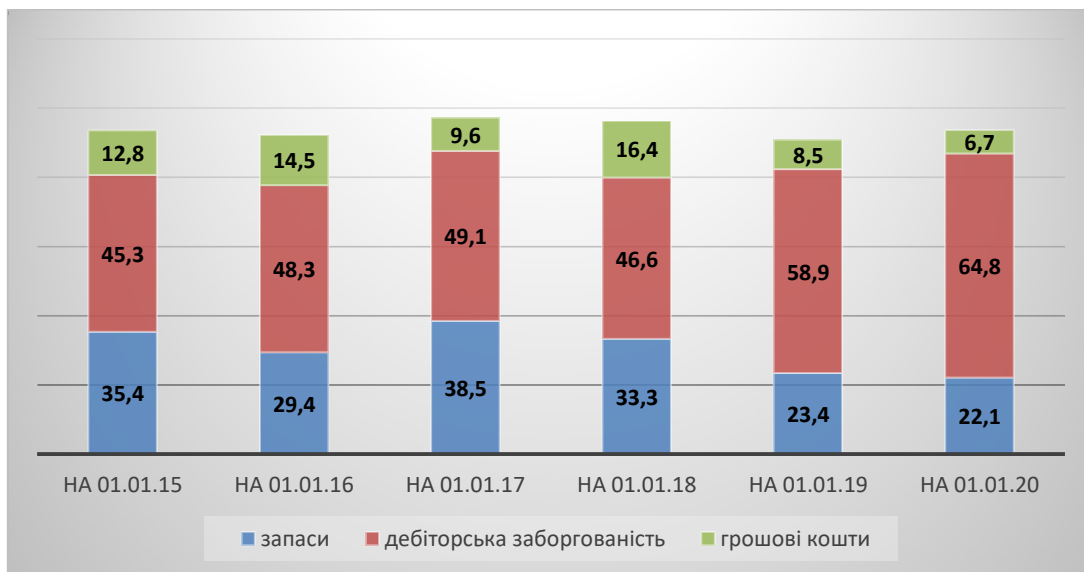


Рисунок 4.12 – Структура обігових активів авіакомпаній України, %
(побудовано за даними Державної служби статистики України [40])

Таким чином, аналіз авіакомпаній України встановив наявність низки проблем, які мають бути вирішені через формування інтелектуальної інформаційної системи:

- проблема зростання доходів має під собою дві складові: зростання обсягу перевезень (як вантажних, так і пасажирських) та оптимізація ціноутворення. При чому ці два аспекти пов'язані між собою зворотнім чином: зменшення тарифів робить авіакомпанію конкурентоспроможною у порівнянні із лоукостерами та притягує клієнтів, збільшення тарифів – відволікає їх у більш привабливі за ціновим критерієм компанії. Іншим аспектом, що може привертати клієнтів, є високий рівень або ширший перелік послуг авіакомпаній;

- проблема оптимізації витрат позначається на формуванні собівартості. Управління витратами тісно пов'язане із технічною складовою, а саме з витратами та обслуговування та експлуатацію літаків, забезпеченням безпеки польотів, логістикою авіаперевезень. Також увагу слід приділяти обслуговуванню пасажирів та просуванню, тобто маркетингу;

- проблема управління дебіторською заборгованістю через формування оптимальної кредитної політики авіапідприємств дозволить підвищити оборотність активів компаній та ефективність їх діяльності.

Узагальнення економічних проблем авіакомпаній наведено на рис. 4.13.

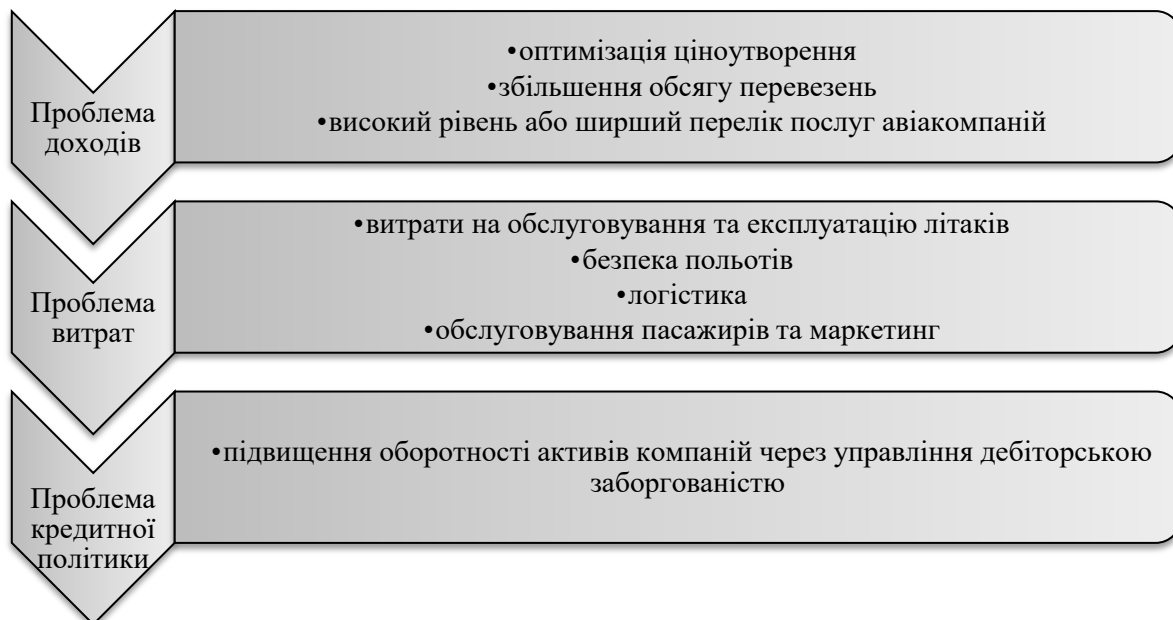


Рисунок 4.13 – Проблеми авіакомпаній України, які мають бути вирішені через формування інтелектуальної інформаційної системи

Вирішення означених питань через інтелектуальні інформаційні системи є результативним способом покращення стану авіакомпаній України.

4.4. Компоненти інтелектуальних інформаційних систем в економічній діяльності авіакомпаній

Формування інтелектуальної інформаційної системи авіакомпаній, яка спрямована на вирішення окреслених у попередньому підрозділі проблем, є результативним інструментом управління економічними процесами, оскільки транзакції будуть відслідковуватися у режимі реального часу, що зменшить термін виконання управлінських завдань та певним чином нівелює невизначеність та ризик коливання зовнішніх та внутрішніх факторів ефективної діяльності. Впровадження новітніх технологій для покращення моніторингу та контролю, аналізу та оцінки економічних параметрів підвищить ефективність, швидкість та гнучкість економічній діяльності авіакомпаній. Потенціал адаптації та зростання рівня чутливості до ринкових коливань уможливіть зростання конкурентоспроможності авіакомпаній України.

Компоненти інформаційної системи розглядаються в розрізі баз даних и баз знань (опрацьованих ПС даних), комп'ютерних мереж і засобів комунікації, техніки, програмного забезпечення.

Бази даних і бази знань.

Бази даних, які оброблюються та перетворюються на бази знань для авіакомпанії, можна поділити на дві складові: дані зовнішнього середовища (дані про конкурентів, їх ціни та тарифи, послуги які вони надають та макроекономічні дані: динаміка цін на пальне, макроекономічних показників, до прикладу, інфляція, рівень доходів домогосподарств) та дані внутрішнього середовища авіакомпанії.

Як вказувалося у попередньому підрозділі, важливим для прогнозування та планування витрат є відслідковування характеристик експлуатації та

обслуговування літаків. Такий моніторинг також може здійснюватися через інтелектуальні інформаційні системи технічного спрямування. У роботі [44] йдеться про можливість діагностування технічного стану авіаційних двигунів на основі нечіткої логіки; колектив авторів [45] пропонують комп'ютерне моделювання експлуатаційних станів паливного колектору авіаційного двигуна та визначають його придатність використання у процесі виробництва та ремонту для відпрацювання технологічних заходів з метою підвищення надійності авіаційних силових установок; дослідники [46] роблять висновок, що «нейромережеві технології можна ефективно застосовувати для вирішення задач діагностування технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117. Вони дозволяють працювати як з реальними даними, отриманими для індивідуального і еталонного (середньостатистичного) авіаційного двигуна ТВ3-117, так і з даними, обчисленими за допомогою його математичної моделі, на підставі порівняння яких можна приймати обґрунтовані рішення про характер і місце розташування того чи іншого дефекту» [46, с. 89]. Отже, інструменти штучного інтелекту дозволяють оцінювати та прогнозувати технічний стан літаків, відповідно, прогнозувати витрати на його підтримку у належному стані.

Дані, отримані під час моніторингу кожної великої вбудованої системи (двигуни, авіоніка та ін.), можуть бути використані за допомогою моделей прогнозного обслуговування, щоб ефективно передбачити витрати. Дані моніторингу палива використовуються для прийняття обґрунтованих рішень щодо використання пального. Дані погодних умов можна використовувати, щоб визначити, як різні умови польоту впливають на продуктивність двигуна, і вибрати найбільш ефективний засіб його використання. Дані моніторингу технічного стану частин літаків можна використовувати для визначення пріоритетів ремонту. Ця інформація є надзвичайно важливою для авіаперевізників і покращують ефективність обслуговування клієнтів, а отже, відіграють певну роль у збільшенні доходів. Організація, яка використовує ці

дані, може збільшувати доходи, одночасно скорочуючи витрати, не поступаючись при цьому якості своїх продуктів та послуг [47].

До внутрішньої системи даних належить також спостереження за безпекою польотів. Дані про внутрішнє середовище польоту та безпеку в основному стосуються показників тиску у салоні, висоти над рівнем моря та витрат палива, техногенного стану під час рейсів, стійкості погодних умов та зміни клімату під час окремих рейсів та інші характеристики. Деякі дані безпеки польотів тісно пов'язані з даними технічного стану з експлуатації та обслуговування літаків та їх інформаційною підсистемою. В цілому, дані про безпеку польоту в режимі реального часу дозволяють ефективно управляти польотами та повітряним рухом, нівелюючи або знижуючи загрозу аварій, що, в свою чергу, створює позитивний імідж авіакомпанії та залучує клієнтів.

Наведені дані переважно містяться у системі організації повітряного руху (ATM, Air Traffic Management).

Наступна важлива для економічної діяльності авіакомпаній база даних - умови обслуговування клієнтів та попит на основні та додаткові послуги - обробляється в межах CRM-систем. Можлива також фіксація показників щодо часу зльоту, прибуття, затримки, кількості заявок на скасування, повернення квитків та бронювання окремих рейсів, фінансових умов придбання квитків та іншої інформації. Такі дані є основою для авіаційної логістики, покращуючи показники конкурентоспроможності авіакомпаній через визначення найбільш затребуваних напрямів авіасполучення. Також дані дозволяють прогнозувати доходи та маркетингові витрати. Крім того, дані по обслуговуванню пасажирів та екіпажів використовуються для зменшення витрат на управління та попередження експлуатаційних помилок, покращення ефективності управління [48, 49].

Процеси інтелектуальної обробки даних в економічній діяльності авіакомпаній включають: оптимізацію прогнозних витрат, логістику польотів, оптимізацію ціноутворення та маркетингових інструментів, прогнозування

продажів основних та додаткових послуг, потреби в фінансових ресурсах.

На виході інтелектуальна інформаційна система може надавати: план закупок та інших витрат, формування системи маршрутів, відповідних їм вимог до технічних характеристик літаків, екіпажу, план фінансової діяльності (залучення коштів), план грошових потоків, план маркетингу та просування, план доходів та фінансову та управлінську звітність.

Комп'ютерні мережі і засоби комунікації.

Безумовно, для формування й обробки баз даних використовується мережа Internet. Використовуються технології та стандарти XML і Веб-сервіси, які дозволяють моделювати та автоматизувати бізнес-процеси. Дані технології забезпечують високий рівень прозорості господарських операцій, їх автоматизацію, гнучкість. Засоби комунікації не тільки ідентифікують різні економічні процеси, а й встановлюють зв'язок і залежність між ними. Вони дозволяють системно підійти до аналізу витрат, моделювання, прогнозування, оптимізації, планування, підтримки управлінських рішень. Тому комунікація включає необхідність формування мереж для синхронізації даних між офісними, хмарними, особистими та мобільними пристроями. Доцільним є створення файлообмінника.

У роботі [50] наведено класифікацію аспектів комунікації. Комунікація фізичних систем переважно стосується взаємозв'язку системи та передачі повідомлень за допомогою комп'ютерних мереж зв'язку. Після цього можуть бути реалізовані: комунікація, розподілення обчислювальних середовищ та посередники запитів об'єктів. Комунікація програм ґрунтується на інтеграції фізичних систем і більше стосується сумісності програм та їх розподілення, вимагає обміну даними та інформацією за допомогою платформ комунікації (таких як CORBA, NIIIP, AIT-IP або OPAL). Нарешті, бізнес-комунікація спрямована на координацію бізнес-процесів та корпоративних мереж. Вона повинна враховувати організаційні питання та людський фактор і вимагає обміну знаннями для всієї організації. Це передбачає точне моделювання

детальних даних щодо процедур економічної діяльності, знань у формі спільної моделі підприємства. Частина цієї моделі може бути реалізована за допомогою механізмів робочого процесу та комп'ютерної підтримки спільної роботи (CSCW) [50].

Фахівцями також наголошується, що «потоки в сучасних мережах не є простими, мають істотну післядію і самоподібність. Необхідність забезпечення різних категорій мережевих додатків високою якістю обслуговування, обліку затримок, що періодично виникають у передачі даних і втрати пакетів при недостатній продуктивності та обмежених ресурсах пам'яті роблять дослідження статистичних характеристик трафіка дійсно актуальними. У зв'язку з цим важливим питанням є визначення параметрів розподілу інформаційного потоку даних і дослідження властивостей трафіка. Було встановлено самоподібність для всіх процесів, що підтверджує можливість застосування фрактальних моделей для роботи з даними, зокрема для підвищення ефективності роботи сучасних телекомунікаційних систем потрібне створення математичних моделей, що найбільш повно відображають фрактальні властивості мережевих процесів» [51].

Програмне забезпечення.

Інтелектуальне програмне забезпечення є будь-якою програмою, яка використовує штучний інтелект для аналізу та інтерпретації даних або спілкування з системами та людьми.

В контексті дослідження обговорюються три типи програмного забезпечення:

- програмне забезпечення, яке спрямовано на пошук та виявлення даних, генерацію та розвиток баз знань через узагальнення, виявлення нових зв'язків та перевірки узгодженості даних;
- програмне забезпечення інтеграції та перекладу, які перетворюють інформацію з одного формату в інший з урахуванням семантичних обмежень;
- програмне забезпечення з управління базами даних та знань, що

дозволяє споживачам інформації швидко знаходити відповідні факти та ресурси програмного забезпечення з величезної кількості неоднорідних, розподілених даних.

Програмне забезпечення з виявлення знань пов'язано із значною базою різноманітних даних та інформації, потребою та можливістю для вилучення знань із баз даних та забезпечення їх системності. Подібні автоматизовані інструменти можуть надавати можливість сканувати бази даних; перевіряти їх однорідність та щільність зв'язку між ними; складати звіти; підтримувати логічні висновки; полегшити візуалізацію, відповіді на запити, пояснення та обґрунтування до них. На сьогоднішній день програми розкриття знань були розроблені для фінансів, страхування, маркетингу та багатьох інших галузей.

Необхідність програмного забезпечення інтеграції та перетворення обумовлена тим, що навіть схожі за змістом дані можуть сильно відрізнитися за формою та операціями, які над ними можна виконувати. Хоча більшість перетворень форматів даних і певний рівень сумісності прикладних систем досягаються за допомогою розробки стандартів (наприклад, формату даних RTF, COBRA та OLE), вони часто відстають від потреб користувачів інтелектуальних інформаційних систем.

Інфраструктура інтелектуальних інформаційних систем повинна підтримувати семантичний переклад. Семантичний переклад використовує знання для перетворення між похідними величинами, а методи штучного інтелекту можуть надати значну допомогу у вирішенні проблем інтеграції та перекладу. Системи подання знань утворюють прошарок, в який можуть бути вбудовані реляційні та інші системи баз даних і над яким можна визначити стандартизовані онтології. Коли інформація, що підлягає конвертації, є відносно стандартизованою та добре структурованою, підходять методи перетворення представлення з автоматизованої розробки програмного забезпечення. Якщо інформація менш структурована, можна використовувати технологію машинного перекладу. У багатьох випадках додатки

використовуватимуть методи переговорів для вибору спільної мови та онтології з метою полегшення координації та перетворення даних.

Програмне забезпечення з управління базами даних та знань покликано вирішити дві тісно пов'язані проблеми. Споживачам інформації потрібні ефективні способи генерування відповідної інформації та знань у величезному, розподіленому обсязі неоднорідних даних. І навпаки, ті, хто надає дані, повинні поширювати нову інформацію та послуги серед зацікавлених людей та програмних агентів. Два виклики – неоднорідність та масштабованість – ускладнюють програмне забезпечення генерації знань та їх систематизації, а слідом – поширення. Завдання штучного інтелекту полягає в тому, щоб визначити агентів, які, ймовірно, будуть зацікавлені в певній інформації (для внутрішнього споживання – співробітники певних підрозділів, для зовнішнього – клієнти для повідомлення про нові послуги) або, навпаки, тих, хто міг би надати бажану інформацію та дані.

Технічне обладнання.

До складу технічного обладнання інтелектуальних інформаційних систем включаються комп'ютери, роботи, датчики, засоби діагностики, інтелектуального зондування та інші пристрої, які фізично забезпечують процеси генерації, інтелектуальної обробки та зберігання інформації авіакомпаній. Окрім того, до системи мають бути інтегровані специфічні для галузі авіаперевезень дані з пристроїв, які використовуються на етапах польоту. До них фахівці відносять:

- радіотехнічні засоби контролю висоти польоту й зв'язку (радіовисотомір, радіостанції ближнього та дальнього зв'язку);
- системи ближньої та дальньої навігації, доплерівська навігаційна система, інерціальна навігаційна система, автоматичні радіокомпаси, літаковий відповідач, радіолокатори;
- система попередження зіткнень повітряних суден;
- апаратура системи посадки.

Узагальнення наведених положень наведено на рис. 4.14.



Рисунок 4.14 – Компоненти інтелектуальної інформаційної системи авіакомпанії

Отже, з розвитком найсучасніших технологій інтелектуальних інформаційних систем обробка великих обсягів даних стає необхідною умовою

результативної діяльності авіакомпаній. Вони дозволяють досягти конкурентних переваг завдяки своїй здатності збирати та обробляти велику кількість внутрішніх та зовнішніх даних організації. Система аналітики авіакомпанії повинна працювати в режимі реального часу та враховувати технічні потреби оновлення парку повітряних суден, вимоги клієнтів та дії конкурентів. Авіакомпанії можуть скористатися отриманою інформацією для покращення продажів та досягнення більшої частки на ринку, зменшуючи при цьому витрати.

4.5. Особливості планування ресурсів авіакомпаній та складові ERP

Планування ресурсів (ERP) авіакомпаній у їх економічній діяльності є одним з найважливіших процесів, який полягає у зберіганні, управлінні, інтерпретації та моделюванні даних. Найбільшу складність має планування обслуговування літаків через регулювання великою кількістю правил управління життєвим циклом та зацікавленими сторонами, перевірок, які проводяться авіаційними органами чи замовниками. Безпека польотів, відповідність нормативним вимогам, надійність та наявність необхідного бюджету для авіаційного обслуговування значною мірою залежать від результативно діючої бізнес-платформи планування ресурсів. Крім того, планування ресурсів авіакомпанії охоплює широкий спектр процесів, включаючи фінанси, управління людськими ресурсами, продажами, закупівлями, інжинірингом, запасами матеріалами та ланцюжком поставок.

Важливість інтеграції різних напрямів економічної діяльності в єдину систему підкреслюються тим, що в управлінні авіакомпанією існує суттєва залежність від забезпечення безперебійної роботи літака та своєчасність такого забезпечення є життєво необхідною для досягнення конкурентоспроможності авіакомпанії. Загалом, здатність ефективно працювати з максимальною потужністю – це те, наскільки здатна авіакомпанія отримати конкурентних

переваг, мінімізувати витрати, забезпечуючи при цьому високий рівень обслуговування, якого очікують пасажери та відвідувачі.

На оперативному рівні управління авіакомпанією необхідні дані щодо щоденних показників діяльності: кількості пасажирів, екіпаж, метеоданих, рейсів і ін. ERP на операційному рівні також може містити додаткову інформацію, таку як бронювання майбутніх рейсів та послуг, які пасажери запитують через Інтернет. Система обробки транзакцій, яка надає можливість оперативно отримувати оновлені дані у реальному часі, відстежує щоденні замовлення та транзакції. До цих платформ можуть бути інтегровані платіжні системи, зокрема, відслідковуватися придбання авіаквитків через Інтернет та доходи авіакомпанії. Така інтеграція покращить ефективність витрат на обслуговування пасажирів за рахунок поширення електронних квитків.

Оскільки все більше людей бронюють квитки на літак онлайн, туристичні фірми та авіакомпанії повинні зосередитися на наданні позитивного досвіду споживачам на своїх веб-сайтах. Для авіакомпаній надзвичайно важливо мати стратегію цифрового забезпечення, яка включає встановлення необхідних інструментів, процесів та заходів для забезпечення послідовного досвіду роботи з клієнтами. Авіакомпанії повинні адаптувати свої умови бізнесу, ціноутворення до своїх конкретних потреб. В рамках процесу онлайн - бронювання ці налаштування мають бути належним чином виконані. Глобальна система розповсюдження (GDS), також відома як система резервування комп'ютерів (CRS), та система бронювання Інтернету (IBE) у поєднанні з платіжною системою є найпоширенішими платформами для послуг бронювання подорожей. Кожен із цих компонентів став більш складним та корисним, що робить інтеграцію все більш важливою [52].

Система управління активами включає програмні додатки, які використовуються для планування та управління активами та ресурсами авіакомпанії, яка є складною динамічною системою, що постійно взаємодіє з внутрішніми та зовнішніми силами. Моніторинг ресурсів від дати закупівлі або

дати впровадження до дати утилізації або виведення з експлуатації забезпечує видимість витрат, – життєво важливий аспект, який часто не помічається або прораховується в оперативному бюджеті. Система управління активами дозволяє економісту авіакомпанії створити план управління активами з описом довгострокової стратегії найкращого використання кожного активу. Ця інформація дозволяє операційному менеджеру діяти проактивно, а не реактивно, при прийнятті рішень з технічного обслуговування літаків. Система також може враховувати діяльність підрядників та загальні витрати, пов'язані з кожною функцією чи діяльністю авіакомпанії. Програмне забезпечення може складатися з незалежних додатків з будь-яким прямим з'єднанням або програмних модулів, які інтегруються з програмою ERP, коли вони мають спільну базу даних, або вона може бути приєднана до окремої бази даних, наприклад SQL або Oracle. Дані, що зберігаються в базі, включають інформацію про активи авіакомпанії, персонал, обладнання, комунікації, комунальні послуги, фінанси та плани управління.

Система управління технічним обслуговуванням (CMMS) – це програмна система, що використовується для підвищення ефективності операцій у таких сферах, як управління запасами, шляхом ведення бази даних про технічне обслуговування, пов'язане з діяльністю авіакомпанії.

CMMS дозволяє авіакомпанії забезпечити той рівень комфорту та зручності, якого очікують його клієнти. Як і у випадку з системою управління активами, CMMS сприяє більшій ефективності операційних процедур, покращує управління запасами та зменшує витрати, пов'язані з обслуговуванням повітряних суден та операціями.

CMMS здатна об'єднати дані щодо обслуговування об'єктів в єдиний пакет програмного забезпечення. Однак, щоб бути максимально ефективною, CMMS повинна враховувати всі ресурси, які будуть взаємодіяти з системою. Тому оператор CMMS повинен включати всі системи, обладнання та інвентар, що належать або експлуатуються авіакомпанією. Програмне забезпечення надає

гнучкість для відстеження не тільки стан літаків, але й об'єктів, таких як електричні мережі, системи управління вентиляцією та кондиціонуванням та багато іншого. Ресурси в CMMS також включають людський капітал, який може бути виділений на виконання запланованих та позапланових проєктів або завдань. CMMS надає можливість операторам підприємств відстежувати людські ресурси за професією та рівнем кваліфікації, що допомагає моніторити витрати на оплату праці відповідно до конкретної задачі.

Контроль запасів дозволяє визначити наявні та потенційні ресурси для незапланованих подій. CMMS дозволяє менеджерам відстежувати рівні запасів і встановлювати сповіщення для їх поповнення в режимі реального часу.

Система також дозволяє операторам системи пов'язувати внутрішні сфери діяльності авіакомпанії з активами, забезпечуючи наявність запасних частин для літаків, коли це необхідно, щоб запобігти або мінімізувати простої та затримки діяльності. Деякі пакети програмного забезпечення дозволяють пов'язувати записи інвентаризації із зовнішніми постачальниками деталей та обладнання для автоматизованого замовлення запланованих деталей та устаткування. Оскільки планування має важливе значення для максимальної ефективності, а план передбачає належне планування ресурсів, обладнання, інвентарю та часу, CMMS дозволяє персоналу авіакомпанії планувати дні профілактичного обслуговування на місяці і навіть на роки наперед. Менеджер використовує інструмент планування CMMS, щоб визначити, які ресурси будуть потрібні в майбутньому, а потім інструмент визначає, скільки ці ресурси будуть коштувати в майбутньому. На основі запитів, введених у систему, CMMS формує графік роботи, що включає активи, інвентар, обладнання, прогнозований час роботи та кваліфіковану бригаду, а також надає важливі оновлення стану завдань первинним користувачам та керівництву з обслуговування персоналу. Менеджер використовує цю інформацію для формування бюджету, штатного розкладу та інших потреб.

Як уже згадувалося, ефективність має першочергове значення для

управління високоефективною авіакомпанією, спрямованою на забезпечення безпеки польотів та задоволеності послугами. CMMS дозволяє операторам планувати та відстежувати як заплановані, так і позапланові завдання з мінімальними зусиллями.

У можливості CMMS входить формування звітів щодо операційних витрат, продуктивності, історії ремонту активів, відповідність техніці безпеки з системної точки зору. Ці дані є ключовими показниками ефективності, які дозволяють менеджерам авіакомпанії визначити, чи потрібно вносити зміни до розподілу ресурсів, обладнання чи процесів для підвищення ефективності. Звіти допомагають менеджеру обґрунтовувати рішення про ремонт за допомогою аналізу інформації про відстеження причин несправності, проведені профілактичні та прогностичні програми технічного обслуговування для оптимізації ефективності активів та праці.

CMMS також може допомогти менеджеру скласти графік, відстежити та констатувати стан обладнання на предмет безпеки та дотримання вимог екології. CMMS може надати інформацію, що підтверджує відповідність стану нормативним актам.

Важливо відзначити, що CMMS може складатися з програмних модулів, придбаних та реалізованих окремо, або придбаних та реалізованих як цілий набір програм. Програмне забезпечення надає ряд інструментів, які автоматизують процеси та надають дані про продуктивність, параметри звітування, ресурси та активи для багатофункціональних систем. Можливість аналізу даних дозволяє менеджеру миттєво бачити рівень продуктивності та створювати процеси аналізу життєвого циклу для систем та активів авіакомпанії.

Основними користувачами CMMS є менеджери, які відстежують стан обладнання, планують технічне обслуговування та ремонтні роботи. CMMS вимагають комп'ютерного програмного забезпечення для управління процесами та надання показників ефективності для вдосконалення процесів та прийняття

рішень. Програмні продукти CMMS подібні до програмного забезпечення для управління активами тим, що дозволяють відстежувати та підтримувати окремі функції обслуговування, але вони відрізняються особливими модулями. Постачальник виконує будь-які необхідні модифікації та оновлення програмного забезпечення, але користувачі системи встановлюють дозволи на щоденний доступ та оновлюють базу даних системи (тобто вводять інформацію про активи). Конкретні апаратні компоненти, що складають CMMS, розроблені на основі того, які програми авіакомпанія вибирає. Внутрішні програми встановлюються на традиційних мережевих серверах, які запускають програмні продукти на робочих місцях. Додаткове обладнання може включати мобільні пристрої та аналогічні портативні пристрої, зчитувачі штрих-коду та принтери, які взаємодіють із програмним забезпеченням CMMS. CMMS може працювати в LANS або WLANS авіакомпанії з можливістю підключення до інших систем, таких як Система обмеженого доступу, BMS, Система відеоспостереження, Пожежна система, Система управління доходами та інші системи авіакомпаній. CMMS також можна розмістити в Інтернеті через провайдера. В останньому випадку авіакомпанія сплачує плату за використання CMMS як веб-додатка, але тим самим уникає витрат на закупівлю та встановлення апаратного та програмного забезпечення CMMS. Додаток CMMS зазвичай вимагає реляційної бази даних (RDBMS). Тип інформації, що зберігається, залежить від даних, які вважаються важливими для роботи авіакомпанії. У більшості конфігурацій база даних містить таблиці об'єктів для зберігання інформації про обладнання, інструменти, засоби, транспортні засоби, працівників, розклади, комунальні послуги, системи, графіки та плани технічного обслуговування, схеми, запаси, клієнтів, постачальників, активи. Обов'язки адміністраторів системи включають надання прав доступу, встановлення оновлень, виконання обов'язків адміністратора бази даних та забезпечення ефективності роботи системи в мережі. Якщо система розміщена в Інтернеті, вони надають доступ брандмауера до постачальника, що розміщує сайт, на додаток до інших

системних обов'язків.

Таким чином, CMMS важливий аспект будь-якої ефективної програми технічного обслуговування та результативного розподілу ресурсів. Менеджери можуть покращити процеси прийняття рішень за допомогою даних у режимі реального часу та надати обґрунтування у бюджетах та інших звітах щодо необхідності витрат.

Для операційного рівня інформаційних систем авіаційних компаній важливі і технології блокчейн. Ці мережі допомагають прискорювати операції та безпечно обмінюватися даними у багатьох доменах та точках доступу, від авіаквитків до польотів.

У покращенні обслуговування літаків блокчейн застосовується для спрощення ведення записів з технічного обслуговування. Блокчейн замінює бази даних, електронні таблиці та паперові журнали, які використовуються сьогодні, і створює незмінний цифровий запис про заплановані та позапланові заходи з обслуговування літаків. Оператор знає, яке завдання було виконано, на якому літаку, яким техніком на кожному інтервалі технічного обслуговування.

Блокчейн також може покращити співпрацю в аерокосмічному ланцюжку поставок, створивши «єдине джерело» щодо деталей літаків. Коли деталь виготовляється, виробник може запустити блокчейн, а інші учасники ланцюжка поставок, такі як дистриб'ютори, оператори та технічні спеціалісти з технічного обслуговування, можуть додати свої власні блоки, щоб створити вичерпну та незаперечну інформацію щодо деталі.

Авіакомпанії можуть значно скоротити витрати, купуючи якісні уживані та відновлені деталі для своїх літаків. За допомогою блокчейна вони впевнені, що отримують те, про що домовилися. Наприклад, Honeywell використовує блокчейн для захисту покупців та продавців на своєму унікальному онлайн-ринку запасних частин для літаків GoDirect Trade [53].

За допомогою блокчейна оператор може відстежувати кожну деталь кожного літака та знати його повну історію, поточний стан та

місцезнаходження. В даний час тільки найцінніші деталі – наприклад, двигуни або допоміжні силові агрегати – проходять такий рівень перевірки багатьма операторами. Технологія блокчейн дозволяє легко, швидко та недорого відстежувати все, що є в інвентарі [53].

Управлінські рішення на тактичному рівні допомагають сформувати або підтримують стратегічні рішення організації. Дані, що використовуються для прийняття такого типу рішень, зазвичай знаходяться в узагальнюючих звітах операційних транзакцій. Прикладом таких рішень є визначення цін на квитки, пропонування сезонних акцій, політики бронювання для різних класів тарифів, бюджетування. Можливим варіантом наповнення ERP для тактичного рівня є система аналізу цін, яка визначає ціни на квитки та акції в умовах, коли існує невизначеність щодо можливих результатів рішень. Ця система допомагає збирати відповідну інформацію та аналізує варіанти та альтернативи цінової політики та політики знижок. Потім система надає електронні таблиці та бази даних для створення альтернативних моделей за сценаріями та пропонує менеджерам прийняти найкраще рішення.

Управління відносинами з клієнтами (CRM) може бути інтегрованою у ERP, а може застосовуватися відокремлено. В галузі авіаперевезень CRM використовує програму аналізу пасажирів та бази даних скарг клієнтів як джерела даних. Електронні квитки та веб-канали бронювання зроблять CRM більш ефективним, дозволяючи глибоко зрозуміти тенденції та поведінку клієнтів. Сьогодні CRM є засобом передбачуваного та високоякісного обслуговування, основна мета якого полягає у проактивній побудові, управлінні та збереженні відносин з клієнтами для створення стійких конкурентних переваг.

Ці моделі дозволяють систематизувати дані в інформаційний потік, що дозволяє передбачити індивідуальну поведінку пасажирів та діяльність групи клієнтів. Потім авіакомпанія може адаптувати свої послуги з доданою вартістю, щоб диференціювати свій бренд і масово налаштувати сервіс для клієнта.

Таким чином, підхід, що базується на CRM, дозволяє більш точно відстежувати, а отже, і краще прогнозувати попит, а також надає платформу, на якій індивідуальні пропозиції високоякісних послуг можуть надійно доставлятися клієнтам.

Цей процес включає наступні елементи:

- процес обслуговування клієнтів. Ідея полягає у тому, щоб виховувати почуття приналежності до бренду і навіть власності, наприклад, реалізуючи безпосередньо запити окремих пасажирів та інформуючи їх про дії авіакомпанії;

- позиціонування компанії або послуги через заохочення задоволених пасажирів ділитися своїм позитивним досвідом. Щоб це спрацювало, авіакомпанія повинна набрати принаймні вдвічі більше задоволених пасажирів, ніж незадоволених, оскільки один позитивний досвід бренду зазвичай породжує п'ять усних контактів, тоді як один негативний досвід генерує десять контактів.

Майбутній розвиток CRM пов'язаний із сприйняттям послуг масового маркетингу: мета полягає в тому, щоб переконати якомога більшу кількість клієнтів у тому, що процес авіакомпанії був організований для них або побудований навколо них. Прямий маркетинг та рекламні кампанії намагаються передати ці повідомлення клієнтам. Перехід на модель CRM має численні переваги та деякі додаткові витрати, але потенціал цього підходу ще не реалізований. Тим не менш, значення належним чином виконаних електронних CRM є суттєвими.

Для побудови CRM необхідне створення бази даних електронних продажів (пасажирів або вантажів), яка записує всі операції між авіакомпанією та клієнтом. Клієнтами можуть бути B2C (індивідуальні клієнти), B2B (продажі корпораціям) та C2B (від сторонніх гравців). База даних e-CRM залежить від збільшення частки пасажирів, які бронюють квитки онлайн. Це означає, що авіакомпанія повинна розглядати продаж в Інтернеті як ядро своєї стратегії

просування. Економія коштів від скорочення комісій агентства в ідеалі повинна бути використана для фінансування розвитку веб-каналу бронювання авіакомпанії.

Системи CRM відстежують активність учасників з плином часу. Це відстеження відбувається лише тоді, коли здійснено фактичний політ і відбувається накопичення точок (або польотної милі). Система на основі e-CRM може відстежувати всі взаємодії (а не лише завершені транзакції).

Додавання цих видів транзакцій до бази даних дає маркетологам набагато чіткіше уявлення про клієнта та загальний стан їх відносин з компанією. Якщо з'являються очевидні та повторювані шаблони, маркетологи можуть розглянути, які персоналізовані пропозиції з доданою вартістю можуть бути надані для забезпечення лояльності. Замість маршрутного або масового дисконтування найкращим клієнтам на конкретному маршруті можуть бути запропоновані цільові та точні стимули, що заощадить гроші авіакомпанії, зменшивши альтернативну загальну знижку.

Просування до ключової групи клієнтів стає набагато більш цілеспрямованим, отже, зменшується потреба займатися дорогою та неточною діяльністю, спрямованою на засоби масової інформації на ринку комунікацій.

Сила e-CRM стає ще більш очевидною в сегменті корпоративних продажів. Використання агрегованого та потужного програмного забезпечення на основі запитів дозволяє авіакомпаніям точно відстежувати результати діяльності корпоративних клієнтів.

Індивідуальну діяльність пасажирів від одного корпоративного клієнта також можна відстежувати, щоб визначити загальну вартість цієї фірми для авіакомпанії. Відзначаючи окремих клієнтів, авіакомпанія може також узагальнити загальну модель корпоративних подорожей.

Переваги програми e-CRM є те, що вона є інструментом для забезпечення лояльності клієнтів. В рамках e-CRM авіакомпанія може встановлювати індивідуальні цілі для винагороди ключових пасажирів, а не встановлювати

порогові показники для всього населення.

Подальше комерційне використання бази даних e-CRM передбачає дослідження нових ідей щодо продуктів чи послуг із відповідними споживачами. Ця база даних високої якості з точною та реальною інформацією про клієнтів представляє значну цінність для альянсів, постачальників та інших користувачів даних клієнтів.

Зрештою, бронювання в Інтернеті з використанням CRM дозволяє авіаперевізникам та іншим мережевим сервісним компаніям перейти від масової комерційної практики до індивідуальних методів точного цілепокладання.

Впровадження ERP вимагає стратегії, яка повністю відповідає стратегії компанії. Рівень обслуговування для клієнтів, ланцюжок створення вартості компанії, розробка нових продуктів або послуг – це аспекти, які впливають на функціональні можливості та можливості ERP.

Рішення на стратегічному рівні стосуються загального напрямку, довгострокових цілей. Ці рішення є найменш структурованими, але вони можуть мати істотний вплив на майбутнє авіакомпанії. Одним із видів рішень, які приймаються на стратегічному рівні, є планування для отримання довгострокового економічного ефекту. Таке рішення може включати, наприклад, покупку нового літака.

Інформаційні системи управління на стратегічному рівні – виконавча система підтримки («ESS») – це тип інформаційної системи, яка використовується з метою надання допомоги вищим керівникам у прийнятті стратегічних рішень.

Отримання прибутку – одна з ключових цілей. Система планування прибутку може допомогти організації досягти цієї мети. Система планування прибутку встановлює цільовий прибуток на майбутній період. Вона схожа на узагальнену версію прогнозованого звіту про фінансові результати. Процес починається з прогнозу очікуваних продажів та бажаного відсотка для

збереження валового прибутку з огляду на ринкову ситуацію.

Іншою інформаційною системою стратегічного рівня може бути система розташування об'єктів, яка підтримує доступ менеджера до зовнішньої інформації, щоб вирішити, де розмістити нові об'єкти. Цей тип системи допоможе зібрати, проаналізувати та підготувати основну внутрішню та зовнішню інформацію, що використовується у бізнесі.

Інформація, отримана з інформаційних систем на різних рівнях управління, є надзвичайно важливою, оскільки вона використовується керівництвом у процесі прийняття рішень для досягнення його головної мети-прибутковості.

Системи планування ресурсів авіакомпаній можна інтегрувати з іншими корпоративними інформаційними системами та додатково підвищити ефективність інформаційного потоку.

Можливе врахування зовнішньої інформації.

До прикладу, ІКАО створила партнерську ініціативу, яка спрямована на:

- визначення та підтримку внеску авіаперевезень у світову та національну економіку з точки зору валового внутрішнього продукту (ВВП);
- використання новітніх технологій у наборах великих даних для досягнення цілей безпеки, економічного розвитку, ефективності навігації та захисту навколишнього середовища держав-членів та зацікавлених сторін авіації;
- підтримку на основі даних ролі ІКАО у розвитку інших галузей економіки, таких як туризм та торгівля;
- здатність оцінки впливу на соціальний добробут;
- створення складних та точних прогнозів руху, щоб краще передбачити еволюцію сектору цивільної авіації;
- задоволення майбутнього попиту на послуги авіаперевезень;
- розробку відповідної інфраструктури повітряного транспорту для задоволення цього попиту;

- розроблення стратегії пом'якшення внутрішніх і зовнішніх потрясінь, які можуть вплинути на діяльність та прибутковість галузі;
- покращення методів прогнозування;
- розроблення підходів до контролю витрат та ризиків;
- покращення оцінки бізнесу та еталонної продуктивності.

За даними [54] платформа містить наступні блоки:

- платформа Aero Tariffs враховує стандартні, унікальні аеропортові збори та спеціальні умови для створення оцінки витрат у реальному часі/результатів порівняльного аналізу. Вона надає найновішу інформацію про тарифи аеропортів та тарифи на аеронавігаційні послуги у форматі PDF. На основі обраного маршруту польоту вона генерує карту GIS/FIR для розрахунку плати за аеронавігаційне обслуговування та надає можливість експорту результатів у форматі .xlsx або pdf.;

- угоди про авіасполучення (WASA) – це онлайн-база даних, яка містить фактичні тексти двосторонніх угод та поправок доступними мовами. Документи подаються державами-членами відповідно до статті 83 Чиказької конвенції. Крім того, угоди та зміни інтегруються з інших джерел (офіційні національні веб-сайти). Кожна угода ретельно проаналізована, а основні положення кодифіковані для забезпечення розширених аналітичних функцій. Вбудована пошукова система дозволяє запитувати та аналізувати угоди відповідно до конкретних положень, переглядати відповідний текст, полегшувати планування маршрутів, а також географічно візуалізувати мережу прав повітряного руху. Професійна підписка також дає доступ до великої Бібліотеки правових документів ІКАО;

- глобальний оптимізатор повітряного транспорту (GATO) – надає державам-членам та зацікавленим сторонам інформацію для визначення рівня конкуренції на детальному рівні, що дозволяє приймати рішення щодо виявлення факторів та вживати необхідних політичних заходів для оптимізації мережі повітряного транспорту;

- програма прогнозування ІКАО з її найсучаснішими економетричними моделями є універсальним рішенням для всіх потреб планування та оптимізації держав та інших зацікавлених сторін авіації. Комплексні модулі інструменту дозволяють користувачам генерувати індивідуальні прогнози руху (тобто пасажирів, РПК та коефіцієнтів навантаження) та операцій (тобто вильотів рейсів та місткості) на різних рівнях деталізації. Розробка специфікації прогнозної моделі ґрунтується на економічній теорії, яка використовується для визначення найважливіших детермінантів попиту на авіаперевезення. Розроблено рамку економетричного моделювання для відображення статистично значущих історичних зв'язків між попитом на авіаперевезення та економічними та демографічними факторами. Ці виявлені зв'язки потім використовуються як основа для складання прогнозів попиту на трафік. На додаток до прогнозів перевезень, блок містить детальний набір історичних даних про повітряний рух за період з 1995 по 2015 рік на детальному рівні;

- ICAO DATA Plus – це новий інструмент, який представляє в динамічному та графічному середовищі статистичні дані про повітряний транспорт.

Ці дані дозволяють користувачам швидко візуалізувати тенденції, відмінності та подібності між відбором даних про повітряний транспорт та зробити конкурентний аналіз (порівняльний аналіз) більш доступним [52].

Отже, перетин областей авіаційної технічної та економічної управлінської інформаційних систем є складним та щільним. Так само, як і в інших галузях економіки, представники авіаційного сектору повинні впроваджувати нові та існуючі інтелектуальні інформаційні технології, щоб зберегти свою конкурентну перевагу в авіаційних системах, аеропортах чи інших аерокосмічних та авіаційних галузях.

4.6. Перспективи застосування інтелектуальних інформаційних систем в економічних процесах авіакомпаній

Зміна поведінки та очікувань споживачів, зростання середнього класу в економіках, що розвиваються, глобальний політичний ландшафт, екологічні проблеми та технологічний розвиток призводять до динамічного середовища та викликів авіакомпаній. Це створює як можливості, так і ризики.

Діджиталізація провокує зміни, впливаючи на суспільство та визначає необхідні навички, способи подолання застарілих систем, необхідність фінансування як цифрової, так і фізичної інфраструктури. Отже, революція в галузі цифрової трансформації триває, що змінює підходи до бізнес-процесів та методів обробки інформації. Авіакомпанії мають йти у ногу з часом і впроваджувати досягнення сфери діджиталізації. Керівники повинні прийняти виклики, щоб забезпечити використання потенційної цінності для суспільства та своїх компаній, яка виявиться у збільшенні прибутковості через більшу продуктивність, збільшенні попиту на транспортні авіапослуги за рахунок персоналізації, моделей спільного використання та подальшого покращення сприйняття безпеки польотів.

Перспективами розвитку галузі авіаперевезень вважаються наступні.

Клієнтоорієнтований підхід на основі діджиталізації. Сьогодні за часів вільної конкурентної боротьби у авіаційному транспортуванні клієнти чекають бездоганного сервісу та якісних послуг, адаптованих до їх звичок та переваг. Цифрові технології сприяють покращенню розуміння та сегментації клієнтів в авіації. Штучний інтелект та машинне навчання допомагають перетворити дані на аналіз та покращити обслуговування клієнтів у формі персоналізації та чат-ботів. Крім того, цифрові платформи, підключені пристрої (Інтернет речей IoT), віртуальна та розширена реальність (VR/AR) та інші технології дозволять впроваджувати інновації, покращувати взаємодію з клієнтами та підвищувати ефективність. Отже, важливим компонентом для епохи цифрових технологій є

орієнтація на клієнтів, яка може складатися з однієї або кількох поїздок. Керівники повинні знайти нові способи взаємодії з клієнтом новими та інноваційними способами. При цьому, з цифровою ідентифікацією необхідно докласти більше зусиль для забезпечення кібербезпеки. Особисті дані мають бути безпечно та етично використані та захищені.

Готовність до реформування законодавства та нормативної бази. Інновації рухаються набагато швидше, ніж нормативні акти та формування політики, а це означає, що уряди змушені запроваджувати правила щодо нових технологій. Потрібні узгоджені дії керівників галузі, регулюючих органів та політиків, щоб максимізувати цінність діджиталізації в авіації, подорожах та туризмі. Необхідна система правил експлуатації машин та систем штучного інтелекту. Однак рамки мають залишатися достатньо гнучкими, щоб не вбивати інноваційний дух, але сприяти розвитку шляхом застосування керівних принципів та активних заходів щодо відповідальності, безпеки та конфіденційності цих нових технологій.

Діджиталізація польоту. Операції в кабіні пілотів стають все більш комп'ютеризованими в результаті інформаційних технологій. Створення централізованої цифрової екосистеми авіакомпаній також полегшує ефективнішу взаємодію пілотів та наземних операторів. Від інформації про метеоумови в режимі реального часу, планування маршрутів та зв'язку повітря/земля до передачі інформації про стан повітряного судна, це може покращити показники польоту [52].

Діджиталізація обслуговування пасажирів (розпізнавання обличчя, самоперевірка перед рейсом). За оцінками фахівців, це дозволяє досягти двох цілей: покращити досвід клієнта та операційні можливості, одночасно досягаючи фінансової ефективності. Авіакомпанії можуть створювати нові джерела доходу з впровадженням нових платформ і пристроїв, так званого Digital Revenue. Ці технології дозволять авіаперевізнику виправдати очікування клієнтів, спростити операції та отримати прибуток. Інвестиції в реалізацію цих

рішень вимагають ретельного аналізу та забезпечення належних талантів для не лише впровадження, але й належного функціонування та обслуговування. Ось чому може знадобитися підвищення кваліфікації ІТ -організації (або набуття нових талантів), яка може працювати, а також мислити в цифровому форматі. Наприклад, розширена реальність авіакомпанії Air Zealand для бортового екіпажу дозволяє екіпажу мати повну і точну інформацію про всіх пасажирів на борту, просто відсканувавши салон і подивившись на них [55].

Глобалізація інформації в межах галузі авіаперевезень. Вже поширеною є пропозиція програми для смартфонів, де пасажирі можуть бронювати авіаквитки, отримувати цифрову копію посадкових квитків тощо. Star Alliance вивів цю концепцію на новий рівень, інвестуючи у розширення цієї програми до цифрової платформи, яка надає своїм членам доступу до всіх авіакомпаній Start Alliance. Тепер, якщо ви летите з різними авіакомпаніями в межах Альянсу, дані розподіляються між усіма авіакомпаніями, якими ви користуєтесь. Це робить процес польоту набагато більш гнучким, а авіакомпанії мають доступ до безлічі даних про пасажирів, які можуть бути використані для маркетингу та можливостей збільшення доходу в майбутньому. Щоб використати стратегічні можливості, авіакомпанії тепер мають належну основу для створення глибоких галузевих партнерств, конкурентоспроможних та динамічних цін та розвитку портфеля шляхом послідовних інвестицій у НДДКР [55].

Вимогами до впровадження інтелектуальних інформаційних систем в практику авіакомпаній є наступні.

Стратегічне цілісне бачення на основі обробки великих даних та інтелектуальних систем. Для цього необхідно оцифрування всіх процесів авіакомпанії, створення широкої бази поточних операцій та констатація їх результатів для машинного навчання. Лише таким чином можливо прогнозувати майбутнє з високою достовірністю, визначаючи напрями удосконалення діяльності, впливові фактори, які сприятимуть наближенню до

стратегічної мети. Стратегія авіакомпанії має бути гнучкою, що реалізується через інтелектуальні інформаційні системи управління доходами, витратами, активами, обслуговуванням клієнтів. Успішна стратегія цифрової трансформації працює на основі загальної швидкості виконання або прийняття нових оперативних можливостей. Технологічні можливості інтелектуальних інформаційних систем уможливають формування та реалізацію гнучкої та адаптивної стратегії швидко та ефективно. Прискорення нових можливостей потребуватиме передової аналітики для розвитку масштабованості конкурентних переваг. Фінансові наслідки цієї умови вимагають належного узгодження між обраним підходом та інвестиційними можливостями.

Цифровізація. Вище керівництво повинно скласти повну дорожню карту, перш ніж розпочати діджиталізацію. Цифрові технології дозволяють компанії досягти успіху лише в тому випадку, якщо вона досягає певної цільової цінності. Вкрай важливо визначити та повністю задокументувати, яка фактична цінність для компанії, і наскільки цифрові технології можуть сприяти поступовому досягненню зазначених цілей.

Сприйняття інформаційних технологій, як необхідності. Для цього потрібен розумний підхід та сучасне мислення. Зміна мислення має вирішальне значення для авіакомпаній для досягнення будь-яких трансформацій. Ітераційний та орієнтований на процес стиль управління є контрпродуктивним для цифрового середовища. Розвиток динамічного підходу, співпраці та використання найкращих талантів є ключовим елементом успіху для технологічних компаній, але на сьогодні не для авіації. Атрибутами формування сучасного стилю управління є:

- фахівці та їх талант. Це вимагає повного перегляду підходу до персоналу, необхідного для задоволення вимог володіння цифровими технологіями та інноваційним мисленням. Залучення молодих фахівців з сучасними знаннями у галузі ІТ (наприклад, створення окремих вакансій в сфері ІТ, співпраця з університетами для працевлаштування на нові робочі

місця) у поєднанні з навчанням існуючого персоналу може допомогти прискорити процес цифрової трансформації авіакомпаній. Діджиталізація таким чином означає зміну вимог до фахових компетенцій персоналу (наприклад, навички у сфері робототехніки, Інтернету речей (IoT), аналізу та аналітики даних). Це вимагає також певної трансформації підходу освітніх закладів у підготовці відповідних фахівців авіації. Потрібні навчальні програми, які опрацьовують нові технології та допомагають здобути відповідні навички;

- розширення інструментів співпраці (Slack, Facebook) та впровадження таких методологій, як дизайнерське мислення та Kanban, можуть допомогти підтримати процес діджиталізації в авіакомпаніях;

- організаційне навчання та участь у сучасних заходах (хакатони, заходи щодо запуску нових туристичних технологій, заходи інноваційний аналітичних центрів) слід використовувати стратегічно, щоб допомогти колективу авіакомпанії мислити нестандартно та вдосконалювати діяльність;

- оновлення стандартів роботи на основі принципів співпраці, динамічної поведінки, швидкої обробки результатів, близькості до клієнтів та розуміння їхнього мислення, зворотній зв'язок. Інтелектуальні інформаційні технології дозволяють реалізовувати означені стандарти шляхом аналізу, формування сценаріїв та моделей поведінки авіакомпанії стосовно задоволення потреб існуючих клієнтів та залучення нових, позиціонування на ринку послуг авіаперевезень;

- гнучкість в управлінні проєктами (технологія Agile Management, Канбан). авіаційні компанії, як правило, мають доволі стійку та громіздку структуру управління та не схильні до ризику. Зосередження на результатах та динамічна поведінка - це властивість, яку авіація може впровадити в управління проєктами за прикладом технологічних компаній. У поєднанні з підтримкою нових ідей та прийняттям сміливих ризиків, як частини екосистеми, має вирішальне значення. Такі методології, як дизайнерське мислення, Agile

Management та Канбан, допомагають розробляти та запускати проекти, досягати швидких результатів в мінливому та невизначеному середовищі у порівнянні з робочими обговореннями планів протягом тривалого періоду часу в межах громіздких структур процесного управління. Вони також можуть допомогти забезпечити розробку процесів, які враховують майбутні потреби та дозволяють адаптуватися під них, а не просто відтворювати подібні підходи сьогодні з новими технологіями. На жаль, на даний момент ці інноваційні рішення часто є ігноруються авіалініями.

Для того, щоб адаптуватися до інформатизації суспільного життя, в авіакомпаніях потрібні суттєві зміни. Основна увага зосереджена на покращенні обслуговування клієнтів, економічній ефективності, кращій аналітиці та оптимізації доходів, а також операційній досконалості. Стратегічне бачення авіакомпаній має бути орієнтованим на цифрові рішення, гнучкі принципи управління. Цифрова трансформація передбачає зміни в організації, моделі роботи, культурі компанії та підвищення кваліфікації працівників. Реалізація стратегії цифрової трансформації вимагає, перш за все, підвищення кваліфікації та навчання персоналу авіакомпанії, включаючи вищий менеджмент. Керівники, які відповідають за формування загальної стратегії бізнесу, повинні бути освіченими та обізнаними про ключові концепції цифрової трансформації. Співробітники середнього керівництва повинні бути навчені новим методологіям моделювання бізнесу та впровадженню нових стратегій. Фахівці у сфері ІТ стають справжніми діловими партнерами не тільки тому, що вони будуть покликані виконувати основні функції, але й тому що вони допомагають у формуванні цифрової стратегії авіакомпанії.

Інвестиції у цифрові технології авіакомпаній потенційно можуть підвищити рівень задоволеності клієнтів, а також значно покращити їх операційну ефективність. Конкретні цифрові тенденції, що сприяють задоволенню клієнтів, – це штучний інтелект, машинне навчання та Інтернет речей (IoT), великі дані та блокчейн, тоді як розширена реальність (AR),

автоматизація впливають на експлуатаційні показники польоту. Успішна адаптація цих технологій потенційно може призвести до поліпшення загальної ефективності, вартості, гнучкості та безпеки авіакомпанії.

Висновки до розділу

Цифрова трансформація, яка триває останніми роками, формує інструменти та методи перебігу організаційних процесів і функцій, визначає взаємодію суб'єктів господарювання з клієнтами та споживачами, замовниками, іншими учасниками ринку. Такі інструменти розширюють можливість генерування, зберігання та обміну інформацією, досвідом у цифровій формі. Для того, щоб адаптуватися до інформатизації суспільного життя, в авіакомпаніях потрібні суттєві зміни.

Інтелектуальні інформаційні системи (ІС) в економіці є інструментом роботи з системами управління базами економічних даних з використанням технології штучного інтелекту. Через такі процеси відбувається не тільки зберігання економічної інформації, а також її обробка і систематизація для прийняття управлінських рішень. Автоматизація економічних процесів в авіакомпаніях на основі інтелектуальних інформаційних систем допомагає скорочувати витрати, покращувати відносини з клієнтами, покращувати фінансові показники діяльності. В авіаційній компанії широко використовуються різноманітні додатки через оцифрування різних процедур та даних. Процеси, які виконують інформаційні системи, дозволяють планувати та прогнозувати польоти, управляти екіпажем або витратами палива. Аналіз великих даних за останні кілька років дозволяє реалізувати функціональні можливості, засновані на машинному навчанні, поєднанні різноманітних джерел даних, включаючи не тільки дані про авіакомпанію чи погодні умови, а й дані про управління повітряним простором. Інтелектуальні системи є комплексними, дозволяють аналізувати різноманітні набори даних та використовувати історичну поведінку системи для прогнозування та

рекомендацій оперативних рішень для авіакомпаній, аеропортів та провайдерів аеронавігаційних послуг.

Основна увага в економічній діяльності авіакомпаній зосереджена на покращенні обслуговування клієнтів, економічній ефективності, кращій аналітиці та оптимізації доходів, а також операційній досконалості. Стратегічне бачення авіакомпаній має бути орієнтованим на цифрові рішення, гнучкі принципи управління. Цифрова трансформація передбачає зміни в організації, моделі роботи, культурі компанії та підвищення кваліфікації працівників. Реалізація стратегії цифрової трансформації вимагає, перш за все, підвищення кваліфікації та навчання персоналу авіакомпанії, включаючи вищий менеджмент. Керівники, які відповідають за формування загальної стратегії бізнесу, повинні бути освіченими та обізнаними про ключові концепції цифрової трансформації. Співробітники середнього керівництва повинні бути навчені новим методологіям моделювання бізнесу та впровадженню нових стратегій. Фахівці у сфері ІТ стають справжніми діловими партнерами не тільки тому, що вони будуть покликані виконувати основні функції, але й тому що вони допомагають у формуванні цифрової стратегії авіакомпанії.

Інвестиції у цифрові технології авіакомпаній потенційно можуть підвищити рівень задоволеності клієнтів, а також значно покращити їх операційну ефективність. Конкретні тенденції цифровізації, що сприяють задоволенню клієнтів, – це штучний інтелект, машинне навчання та Інтернет речей (IoT), CRM, великі дані та блокчейн, тоді як розширена реальність (AR), автоматизація впливають на експлуатаційні показники польоту.

Планування ресурсів успішно відбувається у системах ERP, CMMS та інших.

Успішна адаптація цих технологій потенційно може призвести до поліпшення загальної ефективності, вартості, гнучкості та безпеки авіакомпанії.

Список використаних джерел

1. Юрчук Н.П. Інформаційні системи в управлінні діяльністю підприємства. *Агросвіт*. 2015. № 19. С. 53–58.
2. Patterson A. *Information Systems – Using Information, Learning and Teaching Scotland*. 2005.
3. Nowduril S., Al-Dossary S. Management Information Systems and Its Support to Sustainable Small and Medium Enterprises. *International Journal of Business and Management*. 2012. Vol. 7, No. 19. P. 125–131.
4. Laudon K., Laudon J. *Management Information Systems: Managing the Digital Firm*. 9th ed. Prentice Hall, 2006.
5. Юрчук Н. П. Інформаційні системи і технології як інновація у системі управління бізнес-процесами. *Ефективна економіка*. 2018. № 5. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek_2018_5_38
6. Khanore S., Patil R., Dand H. *Management information system*. Institute of Distance and Open Learning, University of Mumbai, 2011.
7. Shim J.K. *Information Systems and Technology for the Non-information Systems Executive*. CRC Press LLC, 2000.
8. Belle J-P.V., Eccles M.G., Nash J.M. *Discovering Information Systems*. 2001.
9. Сидоренко С. В. Корпоративні інформаційні системи та їх роль у маркетингу. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер. : Економіка, аграрний менеджмент, бізнес*. 2013. Вип. 181(4). С. 286-294.
10. Орлова Н.С., Удовік А.С. Інформаційні системи у сучасному корпоративному управлінні. *Актуальні проблеми державного управління*. 2012. № 1. С. 35–40.
11. Гришин В. Інформаційні системи як ефективний засіб забезпечення прийняття управлінських рішень органами державної влади. *Вісник Книжкової палати*. 2011. № 5. С. 29–32.

12. Тишкун Т. Інформаційні системи в державному управлінні. *Наукові записки Національного університету «Острозька академія». Сер. : Культура і соціальні комунікації.* 2009. Вип. 1. С. 199–208.

13. Бойченко О.В. Інформаційні системи управління спеціального призначення. *Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості.* 2014. Вип. 1. С. 57–61.

14. Бортнік Л.Л., Тимчук В.Ю. Геоінформаційні системи та інформаційні технології у військовій справі (за матеріалами науково-практичного семінару з циклу «Січневі ГІСи» (2012 р.). *Вісник геодезії та картографії.* 2013. № 1. С. 27–32.

15. Бльок Н.В., Живко М.О., Живко О.М. Інформаційні системи в кадровому менеджменті органів внутрішніх справ та їх вплив на безпеку бізнесу. *Актуальні проблеми економіки.* 2013. № 11. С. 172–179.

16. Білоус М.В., Рижов О.А., Шматенко О.П., Дроздов Д.В. Інформаційні технології як інструмент побудови інтегрованої логістичної системи в організації медичного постачання Збройних Сил України. *Медична інформатика та інженерія.* 2016. № 1. С. 50–51.

17. Руденко Н.М., Сілакова Т.Т. Інформаційні системи у галузі авіаційної і ракетно-космічної техніки. *Інформаційні системи, механіка та керування.* 2017. Вип. 16. С. 55–71.

18. Юдін О.К., Іваннікова В.Ю., Гирич С.Ю. Державні інформаційні ресурси у галузі авіаційної транспортної системи України: терміни та визначення. *Наукоємні технології.* 2016. № 1. С. 87–90.

19. Гнатюк С., Васильєв Д. Сучасні критичні авіаційні інформаційні системи. *Безпека інформації.* 2016. Т. 22, № 1. С. 51–57.

20. Oktal H., Oktal O. The use of information technologies and systems in airlines. *European and Mediterranean Conference on Information Systems.* 2009, July 13-14. Crowne Plaza Hotel, Izmir.

21. Valdés R.A., Gómez V.F., Sanz A.R., Castán J.P. *Aviation 4.0: More*

Safety through Automation and Digitization. 2018.
<https://www.intechopen.com/chapters/59838>

22. Oster C.V., Jr. Strong J.S., Zorn C.K. Analyzing aviation safety: Problems, challenges, opportunities. *Research in Transportation Economics*. 2013. № 43(1). P. 148–164.

23. Dou X. Big data and smart aviation information management system. *Cogent Business & Management*. 2020. Vol. 7(1). DOI: 10.1080/23311975.2020.1766736

24. Шевчук І.Б., Васьків О.М. *Теоретичні аспекти розвитку і застосування інформаційних технологій в економіці та управлінні: мезо- та мікрорівень*. URL: <http://www.sworld.com.ua/simpoz2/82.pdf>

25. Silling U. *Aviation of the Future: What Needs to Change to Get Aviation Fit for the Twenty-First Century*. 2019. Doi: 10.5772/intechopen.81660.

26. Yin S. J. Study on resources allocation between airworthiness authority and aviation industry. *Procedia Engineering*. 2014. Vol. 80. P. 668–676. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.09.121>

27. Cui Q., & Li Y. The change trend and influencing factors of civil aviation safety efficiency: The case of Chinese airline companies. *Safety Science*. 2015. Vol. 75. P. 56–63. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.01.015>

28. Цимбалістова О. А. Логістичне забезпечення авіаційних підрозділів МВС України. *Інтелект XXI*. 2020. № 1. С. 142-147.

29. Олешко Т.І., Токар В.В. Аналіз та перспективи розвитку авіакомпаній України. *Економіка і суспільство*. 2018. № 16. С. 440-445.

30. Піжук О. І. Великі дані як основоположний драйвер цифрової трансформації економіки. *Економіка та держава*. 2019. № 6. С. 50-54.

31. Gillen D., Morrison W. G. Aviation security: Costing, pricing, finance and performance. *Journal of Air Transport Management*. 2015. Vol. 48. P. 1–12.

32. Wilke S., Majumdar A., Ochieng W. Y. A framework for assessing the quality of aviation safety databases. *Safety Science*. 2014. Vol. 63. P. 133–145.

33. Singh A., Kaushik A. Knowledge based retrieval scheme from big data for aviation industry. *International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks*. 2015.

34. Walker G. Redefining the incidents to learn from: Safety science insights acquired on the journey from black boxes to Flight Data Monitoring. *Safety Science*. 2017. Vol. 99. P. 14–22.

35. Ni X.M., Wang H.W., Che C.C., Hong J.Y., Sun Z.D. Civil aviation safety evaluation based on deep belief network and principal component analysis. *Safety Science*. 2019. Vol. 112. P. 90–95.

36. Barak S., Dahooei J.H. A novel hybrid fuzzy DEA-Fuzzy MADM method for airlines safety evaluation. *Journal of Air Transport Management*. 2018. Vol. 73. P. 134–149.

37. Douglas C.C. An open framework for dynamic big-data-driven application systems (DBDDAS) development. *Procedia Computer Science*. 2014. Vol. 29. P. 1246–1255.

38. Олешко Т.І., Геєць І.О., Павлюк Є.Л. Аналіз сучасного стану авіаційної галузі України. *Проблеми системного підходу в економіці*. 2017. Вип. 5. С. 80–83.

39. Филипковська Л.О., Матвієнко О.О., Нікітенко С.В. Формування первинних знань про стани авіатранспортного підприємства для діагностування його економічної безпеки. *Бізнес Інформ*. 2015. № 5. С. 165–172.

40. *Транспорт України 2019*. Державна служба статистики України, 2020.

41. Іваницька О.М., Гадіак А.Г. Сучасний стан авіаційної галузі та проблеми державного регулювання розвитку авіалізингу в Україні. *Теорія та практика державного управління і місцевого самоврядування*. 2013. № 1. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ttpdu_2013_1_8.

42. Соловей Н.В. Фінансовий стан авіатранспортних підприємств України. *Молодий вчений*. 2018. № 9(1). С. 271–274.

43. Городецька Л.О., Новокрещенов І.О. Визначення собівартості

перевезень авіакомпаній. *Проблеми підвищення ефективності інфраструктури*. 2013. Вип. 36. С. 22–27.

44. Єнчев С.В., Товкач С.С. Діагностування технічного стану авіаційних двигунів на основі нечіткої логіки. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2013. № 1. С. 216-224.

45. Карпінос Б.С., Лобунько О.П., Грень В.М., Коровін О.В. Комп'ютерне моделювання експлуатаційних станів паливного колектору авіаційного двигуна. *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації*. 2013. Вип. 9(16). С. 174–179.

46. Шмельов Ю.М., Владов С.І., Клімова Я.Р., Котляров К.Г. Застосування нейронних мереж у задачі діагностування технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 у польотних режимах. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2018. № 2. С. 80–90.

47. Nagarajan S., Gokulakrishnan S., Ramana K., Charugundla K. Application of Big Data Systems to Airline Management. *International Journal of Latest Technology in Engineering, Management & Applied Science (IJLTEMAS)*. 2017. Vol. VI. P. 129–132.

48. Gupta R.K., Belkadi F., Buergy C., Bitte F., Cunha C. D., Buergin J., Lanza G., Bernard A. Gathering, evaluating and managing customer feedback during aircraft production. *Computers & Industrial Engineering*. 2018. Vol. 115. P. 559–572.

49. Yondo R., Andres E., Valero E. A review on design of experiments and surrogate models in aircraft real-time and many-query aerodynamic analyses. *Progress in Aerospace Sciences*. 2018. Vol. 96. P. 23–61.

50. Vernadat F.B. Enterprise Integration and Management in Agile Organizations. In: *Agile Manufacturing: The 21st Century Competitive Strategy*, Elsevier Science Ltd, 2001. p. 461-481.

51. Гнатушенко В.В., Владимирська Н.О. Аналіз статистичних характеристик комунікаційної інформації в комп'ютерних мережах. *Штучний*

інтелект. 2015. № 1–2. С. 20–26.

52. The role of digitalization in airline industry. URL: <https://www.cigniti.com/blog/digitalization-airline-industry/>

53. Four Ways Blockchain will Change Aircraft Maintenance. URL: <https://aerospace.honeywell.com/us/en/learn/about-us/blogs/four-ways-blockchain-will-change-aircraft-maintenance>

54. Your gateway to ICAO's Civil Aviation Intelligence. URL: <https://unitingaviation.com/news/economic-development/icaos-civil-aviation-data-intelligence/>

55. Digital Transformation and the Airline Industry - 8 Success Factors. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/digital-transformation-airline-industry-8-success-factors-mazis>

РОЗДІЛ 5

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ГАЛУЗІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ОБЧИСЛЕНЬ

Комп'ютерні технології разом з організацією інтелектуальних обчислень переживають свій розквіт. Це пов'язано, головним чином, з потоком нових ідей, породжених дослідженнями у порівняно новій галузі комп'ютерних наук, яка утворилася на перетині штучного інтелекту, статистики та теорії баз даних. Зараз відбувається стрімке зростання кількості програмних продуктів, що використовують нові технології, а також типів завдань, де їх застосування приносить значний економічний ефект. Елементи автоматичної обробки й аналізу даних стають невід'ємною частиною концепції електронних сховищ даних та організації інтелектуальних обчислень [1-3].

Системи, побудовані шляхом поєднання баз даних (БД) і нечіткої логіки, дозволяють істотно розширити функціональні можливості та коло задач, що розв'язуються. У той же час, нечітка база даних розглядається як узагальнена версія традиційної бази даних, інакше кажучи, остання є спеціальним випадком нечіткої бази даних.

Проблема проектування БД зараз є об'єктом зростаючого інтересу широкого кола фахівців у різних галузях науки і техніки. Проте, у багатьох випадках інформація, що зберігається у БД, не завжди точно відображає характеристики досліджуваного об'єкта. Це пояснюється низкою об'єктивних і суб'єктивних причин. По-перше, даний об'єкт може мати складну функціональну структуру, і дослідники не в змозі повністю її з'ясувати. По-друге, через різні об'єктивні причини фахівці часто-густо не мають можливості отримати точну інформацію, а отримують лише деяку її частину. По-третє, на практиці зустрічається досить багато атрибутів об'єкта, які можна оцінити лише якісними величинами, а не кількісними. Такі типи даних часто зустрічаються в експертних системах, системах прийняття рішень та

інтелектуальних БД. Тому сьогодні проблема проектування нечіткої моделі БД і створення методик обробки неточної та абстрактної інформації стає все більш актуальною [4].

Багато вчених розглядали проблеми проектування нечітких баз даних, особливо на основі реляційної моделі. Розроблено різні варіанти нечітких моделей реляційних баз даних. Результати досліджень викладені, наприклад, у роботах: Buckles B.P., Petty F.E., Shenoі S., Melton A., Vila M.A., Lipski W Jr., Prade H., Zemankova-Leech M., Kandel A., Umano M., Ding-An Chiang, Lui R. Chow, Nan-Chen Hsien, Le Tien Vuong, Ho Thuan, Truong Due Hung та інших. Серед них нечіткі моделі Buckles B.P. і Petty F.E., Shenoі S. і Melton A.

Завдяки роботам в області баз даних таких вчених як Мартін Дж., Мейєр Д., Дейт К.Дж, Codd E.F., Fagin R., Armstrong W.W. та ін., теорія класичних баз даних була достатньо розвинена з математичної точки зору [5-7]. У той же час теорія нечітких баз даних ще не може вважатися закінченою, і в ній залишається чимало питань, що потребують вирішення, та обумовлює актуальність сучасних досліджень.

5.1 Реляційні бази даних у завданнях видобування знань

Зараз відбувається стрімке зростання кількості програмних продуктів, що використовують нові технології, а також типів завдань, де їх застосування забезпечує значний економічний ефект. Елементи автоматичної обробки і аналізу даних, що називають Data Mining (видобування знань), стають невід'ємною частиною концепції баз даних, електронних сховищ даних та організації інтелектуальних обчислень.

Але традиційна математична статистика, яка довгий час претендувала на роль основного інструмента аналізу даних, пасує при розв'язуванні завдань із реального складного життя. Вона оперує усередненими характеристиками вибірки, що часто є фіктивними величинами (типу середньої температури

пацієнтів по лікарні). Тому методи математичної статистики виявляються корисними, головним чином, для перевірки заздалегідь сформульованих гіпотез. Data Mining все більш стає мультидисциплінарною галуззю, що виникла на підґрунті досягнень різних наук. Звідси і велика кількість методів та алгоритмів, що реалізовані в різних діючих системах Data Mining. Багато із таких систем інтегрують у собі кілька підходів. Проте, у кожній системі існує, як правило, такий ключовий елемент, на якому фокусується головна увага [8].

Системи, побудовані шляхом поєднання баз даних і нечіткої логіки, дають змогу істотно розширити функціональні можливості та коло завдань, що розв'язуються. Теорія нечітких баз даних ще не повністю сформована, і в ній залишається чимало питань, що потребують вирішення.

Застосування агрегатних функцій щодо ключових атрибутів дає можливість будувати логічні залежності між інформаційними одиницями. Введено поняття функціональних асоціативних правил. Семантична мережа (СМ), що побудована на основі запропонованого підходу, дозволяє підвищити ефективність систем підтримки прийняття рішень.

При переході до знань у пам'ять повинна вводиться інформація про деяку структуру інформаційних одиниць. Наприклад, машинне слово може представляти структуру, де вказано, в яких розрядах зберігається інформація про групи і спеціальності наукових працівників. При цьому повинні бути завдані спеціальні словники: «довідник груп» і «довідник спеціальностей», в яких перераховані наявні в пам'яті ІС групи та спеціальності. Ці атрибути відіграють роль імен для тих машинних слів, які відповідають рядкам таблиці. За ними можна здійснювати пошук потрібної інформації. Кожен рядок таблиці є екземпляром структури.

Зараз практично всі системи управління базами даних забезпечують внутрішню інтерпретованість всіх інформаційних одиниць, що зберігаються в БД. З іншого боку, існує низка питань, які потребують додаткових досліджень. Серед них можна виділити питання, пов'язані із впливом структурних

властивостей БД на формування знань. Подібні завдання розглядаються в роботі R. Srikant, де для обробки транзакцій, що складаються з різних типів даних, та вилучення численних асоціативних правил, був запропонований відповідний алгоритм. У роботах Л.А.Калиниченка і Е.М. Беніамінова міститься опис алгебраїчних засобів моделювання БД реляційного типу, подання знань і понять [9].

Сучасні технології обробки інформації, в яких переважає розділення інформаційних одиниць на дані та команди, створили ситуацію, при якій дані пасивні, а команди активні. Тобто, всі процеси, що протікають, ініціюються командами, а дані використовуються цими командами лише у разі потреби.

Метою проведених досліджень є аналіз особливостей інформаційних одиниць і структур даних, які впливають на технологію вилучення знань. БД можуть бути розглянуті у вигляді структур бази знань (БЗ), оскільки у даний час не існує БЗ, в яких повною мірою були б реалізовані внутрішня інтерпретованість, структуризація, зв'язність, введена семантична міра і забезпечена активність знань.

Крім однозначної можливості інтерпретації, інформаційні одиниці повинні мати гнучку структуру. Кожна інформаційна одиниця може бути включена до складу будь-якої іншої, а із кожної інформаційної одиниці можна виділити деякі складові – її інформаційні одиниці. Інакше кажучи, повинна існувати можливість встановлення між окремими інформаційними одиницями відношень типу «частина – ціле», «елемент – клас» та ін.

У БД зв'язки, встановлені між інформаційними одиницями, можуть характеризувати відповідні відношення між ними. Семантика відношень може носити або декларативний, або процедурний характер. Наприклад, дві або більше інформаційні одиниці можуть бути зв'язані відношенням «у деякий час», «причина – наслідок», «бути однаковим» та ін. Такі відношення характеризують декларативні знання. Якщо між двома інформаційними одиницями встановлене відношення «аргумент – функція», то воно

характеризує процедурне знання, пов'язане з обчисленням певних функцій.

Агрегатними функціями називаються функції, які визначають кількість записів у таблиці, підраховують у стовпці кількість значень або знаходять для нього мінімальне й максимальне значення, а також підсумують дані. До агрегатних функцій належать функції COUNT, SUM, MAX, MIN, AVG і, можливо, інші, що можуть пропонуватися розробником конкретної системи.

Для застосування агрегатних функцій при обчисленнях деякої групи однакових значень використовується параметр угруповання GROUP BY. Цей параметр «стискає» однакові значення заданого атрибута в один рядок підсумкових результатів. Наприклад, для пошуку середньої ціни деталі можна сформулювати запит мовою SQL.

SELECT Num_detail, AVG(Price) FROM Table GROUP BY Num_detail

Схема використання агрегатної функції AVG щодо згрупованих даних показана на рис.5.1.

Num_detail	Colors	Price
103	Green	105 грн.
103	Blue	25 грн.
103	Wait	46 грн.
106	Black	59 грн.
106	Green	102 грн.
201	Wait	15 грн.
201	Black	28 грн.
201	Blue	115 грн.

Num_detail	AVG (Price)
103	58.7 грн.
106	80.5 грн.
201	52.7 грн.

Рисунок 5.1 – Запит з угрупованням

Розробка й дослідження моделі функціональних асоціативних правил здійснюється таким чином. Нехай є БД, для доступу до якої реалізовано набір транзакцій $T = \{T_1, \dots, T_n\}$. $D = \{d_1, \dots, d_n\}$ – множина елементів з T , тобто T_i

$\subseteq D$ і $\Omega = \{\text{COUNT, SUM, MAX, MIN, AVG, ...}\}$ – набір агрегатних функцій. Кожна транзакція є бінарним вектором, де $T_i = 1$, якщо елемент d_i є присутнім у транзакції, й $T_i = 0$, якщо ні. Транзакція T_i містить набір елементів $X \subseteq D$, якщо $X \subset T_i$. Тоді продукцію виду (1) будемо називати функціональним асоціативним правилом, якщо $X \subset D$, $Y \subset D$, $X \cap Y = \emptyset$ і $\varpi \in \Omega$.

$$\{P; X \Rightarrow \varpi(Y)\}, \quad (5.1)$$

де P – умова активізації ядра правила.

Метою аналізу БД є встановлення таких залежностей: якщо в транзакції зустрівся деякий набір елементів X , то на підставі цього можна зробити висновок про те, що інший набір елементів Y також повинен з'явитися в цій транзакції. Встановлення таких залежностей дає можливість знаходити прості й інтуїтивно зрозумілі правила.

У загальному вигляді процес формування асоціативних правил можна подати двома етапами:

- виділення всіх необхідних наборів елементів;
- генерація правил з наборів елементів із застосуванням необхідних функцій.

Звернімо увагу на умову активізації правила (5.1). Для реалізації секвенції « \Rightarrow » цього правила необхідне виконання умови застосовності ядра. У теорії реляційних БД відсутність значення в атрибуті є неприпустимою. З іншого боку, якщо схема БД містить кілька зв'язаних відношень, то можлива ситуація, коли значення зв'язаного атрибута на даний момент не визначено.

Нехай $\mathfrak{R}(R_1(a, b, \underline{c}), R_2(c, \underline{d}), R_3(d, \underline{e}))$ – реляційна БД (підкреслені атрибути є ключами), у схемі якої визначені зв'язки $R_1 \xleftarrow{1:M} R_2, R_2 \xleftarrow{1:M} R_3$ і нехай для \mathfrak{R} задана транзакція:

BEGIN TRANSATION

SELECT $R_1.a, R_1.b, \text{SUM}(R_1.d)$ FROM R_1 GROUP BY $R_1.a, R_1.b$;

SELECT $R_1.b, \text{COUNT}(R_2.e)$ FROM R_1 INNER JOIN R_2 ON


```

R1.c=R2.c GROUP BY R1.b;
SELECT R2.c, R2.d, AVG(R3.e) FROM R2 INNER JOIN R3 ON
R2.d=R3.d GROUP BY R2.c, R2.d;
SELECT R3.d, MIN(R3.e) FROM R3 WHERE d > '10'
GROUP BY R3.d;
COMMIT

```

Побудуємо систему продукцій у вигляді функціональних асоціативних правил:

1. $\{c \mid (a \ \& \ b) \mid \text{SUM}(c),$
2. $d \mid (b \mid \text{COUNT}(e),$
3. $e \mid (c \ \& \ d) \mid \text{AVG}(e),$
4. $e \mid ((\ \& \ d > '10'); d \mid \text{MIN}(e))\}$

Покажемо, що правила 5.2 і 5.3 можуть не активізуватися, тобто існує ситуація, коли не виконуються умови продукції.

Зв'язок типу «один-до-багатьох» визначає однозначну відповідність одного елемента одної множини нулю, одному або більше елементам іншої множини. Таким чином, якщо функціональне асоціативне правило будується між інформаційними одиницями, що належать різним таблицям, таке правило може бути побудоване, але можлива й ситуація, коли умова активізації ядра не виконується.

Твердження. Нехай $\mathcal{R}(R_1(a, \underline{b}), R_2(\underline{b}, \underline{c}))$ – схема реляційної БД. Функціональне асоціативне правило виду $\{c \neq \emptyset; a \Rightarrow \wp(c)\}$ існує, якщо між відношеннями R_1 і R_2 встановлено зв'язок типу 1:М.

Доведення. Грунтуючись на визначенні типу зв'язку «один-до-багатьох» і виключивши ситуацію, коли зв'язаний елемент відсутній (умова $c \neq \emptyset$ у твердженні), покажемо, що завжди можна знайти множину різних елементів однієї множини, які відповідають одному елементу іншої множини, тобто

побудувати функціональне асоціативне правило.

Нехай задані множини $A = \{a_1, \dots, a_n\}$, $B = \{b_1, \dots, b_m\}$ і $C = \{c_1, \dots, c_k\}$ і задані відношення $R_1 \subseteq A \times B$ такі, що b_i не повторюються й $R_2 \subseteq B \times C$, де не повторюються c_i (згідно з ключовими атрибутами, визначеними у схемі БД). Запишемо кортежі добутків у вигляді:

$$\begin{array}{ll}
 R_1 = & \{ \langle (a_1, \dots, a_n), b_1 \rangle \} \\
 & \{ \langle (a_1, \dots, a_n), b_2 \rangle \} \\
 & \dots \\
 & \{ \langle (a_1, \dots, a_n), b_m \rangle \} \\
 R_2 = & \{ \langle (b_1, \dots, b_m), c_1 \rangle \} \\
 & \{ \langle (b_1, \dots, b_m), c_2 \rangle \} \\
 & \dots \\
 & \{ \langle (b_1, \dots, b_m), c_k \rangle \}
 \end{array}$$

Такий запис показує, що в R_1 кожному значенню з $\{b_1, \dots, b_m\}$ може відповідати одне будь-яке значення з $\{a_1, \dots, a_n\}$, і в R_2 кожному значенню з $\{c_1, \dots, c_k\}$ може відповідати одне будь-яке значення з $\{b_1, \dots, b_m\}$.

Розглянемо можливий стан БД (рис. 5.2).

R_1		R_2	
A	<u>B</u>	B	<u>C</u>
a_1	b_1	b_1	c_1
...
a_n	b_m	b_1	c_k

Рисунок 5.2 – Схема реального стану БД

У загальному вигляді відповідність значень атрибутів A і C можна записати у вигляді $a_i \rightarrow (c_1, \dots, c_k)$.

Таким чином, можна застосувати агрегатну функцію для обчислення по атрибуту C, згрупованого по атрибуту A і побудувати відповідне функціональне асоціативне правило $\{c \neq \emptyset; a \Rightarrow \varpi(c)\}$.

Доведення закінчене.

Зауважимо, що на практиці для однозначної ідентифікації значень неключового атрибута в ядрі правила необхідно використовувати значення ключа. Для розглянутого у твердженні прикладу функціональне асоціативне правило $\{c \neq \emptyset; a \Rightarrow c\}$ має вигляд $\{c \neq \emptyset; a, B \Rightarrow c\}$.

5.2 Пошук асоціативних залежностей в реляційних базах даних

На відміну від логічних моделей подання знань, семантичні мережі дозволяють успішно структурувати інформацію. Такі моделі дозволяють розширити коло розв'язуваних проблем порівняно з множиною правил, що належать до них [10].

Використовуючи визначення функціональних асоціативних правил, під семантичною мережею (СМ) будемо розуміти вираз:

$$S = (T, \Omega), \quad (5.2)$$

де T – набір транзакцій, елементи якого виступають у ролі вершин СМ, Ω – множина агрегатних функція, що визначають відношення між вершинами (дуги графа).

Нехай задана система функціональних асоціативних правил:

$$\begin{aligned} &\{Quantity ((; Product (SUM(Quantity) \\ &Price ((; Product (MIN(Price) \\ &Product ((; Name_Customer (COUNT(Product) \\ &Quantity ((; Name_Customer, Product (MAX(Quantity) \\ &Price ((; Material (MIN(Price) \\ &Quantity ((; Price (MIN(Quantity) \} \end{aligned} \quad (5.3)$$

Для ідентифікації складових лівих частин ядра правила в мережі використовується позначення ϖ^i ($i = \overline{1, \infty}$), де i – показує відношення складених

вершин.

Використовуючи структуру СМ, розглянемо зворотну задачу. Сформулюємо запит, ґрунтуючись на аналізі шляхів у СМ. Наприклад, яку інформацію можна одержати, маючи дані про імена постачальників (Name_Customer). Виходячи із системи правил (5.3), запит можна сформулювати наступним чином:

```
SELECT Name_Customer, COUNT(Product) FROM Table  
GROUP BY Name_Customer
```

Аналіз СМ може розширити набір знань. Визначивши необхідний шлях у мережі, запит можна скласти таким чином:

```
SELECT Name_Customer, Product, MIN(Price) FROM Table  
GROUP BY Name_Customer, Product
```

Так, із виразів:

- якщо є постачальник, то можна знайти кількість його поставок;
- і якщо є поставки, то можна знайти мінімальну вартість однієї,

можна одержати вирази:

- якщо є постачальник і його поставки, то можна знайти мінімальну вартість цих поставок.

Останнім десятиріччям спостерігається гібридизація методів інтелектуальної обробки інформації. М'які обчислення поєднують такі області як нечітка логіка, штучні нейронні мережі, видобування знань, бази даних, імовірнісні міркування, еволюційні алгоритми та низку інших. Вони доповнюють одне одного й використовуються у різних комбінаціях для створення гібридних інтелектуальних систем.

Не залишилися осторонь від цікавого й сучасного напрямку дослідники в галузі баз даних. Розробляється нечітка реляційна алгебра й спеціальні розширення структурованої мови (SQL) для нечітких запитів. У цій області інтенсивні дослідження проводять європейські вчені Д. Дюбуа й Г. Праде. [11] Формується перспективний напрямок у сучасних системах обробки інформації

– нечіткі запити до баз даних (fuzzy queries) [12–14].

У цьому контексті можна розглядати два основних питання, найбільш актуальних в цей час: як проектувати, де й у яких структурах зберігати нечіткі дані систем такого класу. Вирішення цих проблем відкриє шляхи інтеграції реляційних баз даних, що накопичили колосальні обсяги інформації, і систем на основі нечіткої логіки.

Метою проведених досліджень є розробка методів зберігання й обробки нечітких даних засобами реляційної моделі, орієнтованої на реалізацію в середовищі сучасних систем управління базами даних. Особлива увага приділена обґрунтуванню вибору схеми реляційної моделі даних для подання функцій належності лінгвістичних змінних.

Розглянемо класичний підхід до побудови реляційного відношення, запропонований Е.Ф. Коддом, і визначимо основні властивості відношень при розширенні множини доменів.

Основним структурним компонентом даних у реляційній моделі даних (РМД) є n -арне відношення, що є підмножиною кортежів декартового добутку доменів, тобто множини значень елементів даних. Для заданих кінцевих множин D_1, \dots, D_n (не обов'язково різних по типу) декартовим добутком $D_1 \times \dots \times D_n$ називається множина добутків виду d_1, \dots, d_n , де $d_1 \in D_1, \dots, d_n \in D_n$. Відношенням R , визначеним на множинах D_1, \dots, D_n , називається підмножина добутку (декартовий добуток) $D_1 \times \dots \times D_n$, тобто $R \subseteq D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n$. Множина $D = \{D_1, \dots, D_n\}$ називається доменом.

Домени – це однотипні семантично однозначні (однакові за змістом) значення елементів даних. Елементи декартового добутку d_1, \dots, d_n називаються кортежами, число n визначає ступінь відношення; кількість кортежів визначає потужність відношення.

Нехай $a = \{a_1, \dots, A_n\}$ – множина імен, тоді однозначне відображення виду $\rho : A_i \rightarrow D_i$, де пару $A_i = \langle \rho(A_i), D_i \rangle$ називають атрибутами відношення. Схемою відношення R будемо називати вираз $S(A_1, \dots, A_n)$ в якому всі атрибути

A_i різні. При цьому екземпляр відношення $R(S)$ визначається як підмножина декартового добутку доменів $r_i \subseteq \rho(A_i) \times \dots \times \rho(A_n)$. Екземпляр відношення зі схемою R_i будемо позначати як $R_i(r_i)$. Зазначимо, що перестановка атрибутів у схемі не породжує нового стану БД. Таким чином, множина атрибутів $\{A_1, \dots, A_n\}$ завдає тип відношення й визначає його властивості [15].

Схему БД будемо позначати як множину схем відношень $U = \{R_1, \dots, R_n\}$, де $R_i \in R$ і всі R_i різні. Відповідно, екземпляр БД будемо позначати множиною екземплярів відношень $U(r_1, \dots, r_n)$.

Концептуально реляційна БД є інформаційною моделлю предметної області (ПО), такою, що кожний екземпляр відповідає стану ПО у певний момент часу. Кожний стан моделюється впорядкованою сукупністю значень елементів даних, що відповідають значенням властивостей об'єктів ПО. Об'єкту певного типу відповідає кортеж відношень.

Для задач аналізу даних визначимо додатковий тип відношень, що визначає приналежність існуючих даних до деякого заданого числового відрізка, що характеризує інформаційний об'єкт – відношення фаззифікації.

Будь-яку лінію на координатній площині можна подати у вигляді бінарного відношення, де $Dom R$ визначається значеннями осі абсцис, а $Im R$ визначається значеннями осі ординат. У задачі фаззифікації діаграма містить три показники, які необхідно враховувати при формуванні відношення.

Під нечіткою змінної будемо розуміти набір (N, X, Y) , де N – назва змінної, X – область міркувань, Y – нечітка множина на X . Використовуючи таке визначення, задамо три домена, що відповідають елементам змінної. Нехай $N = \{n_1, \dots, n_m\}$, $Y = \{0, 0.1, \dots, 1\}$, $X = \{x_0, \dots, x_k\}$.

Значення X і Y відповідають обраній шкалі дискретизації координатних осей і описують область належності до параметра N . Для кожного параметра N робимо вибірку даних за значеннями X і будемо діаграму належності, наведену на рис. 5.3.

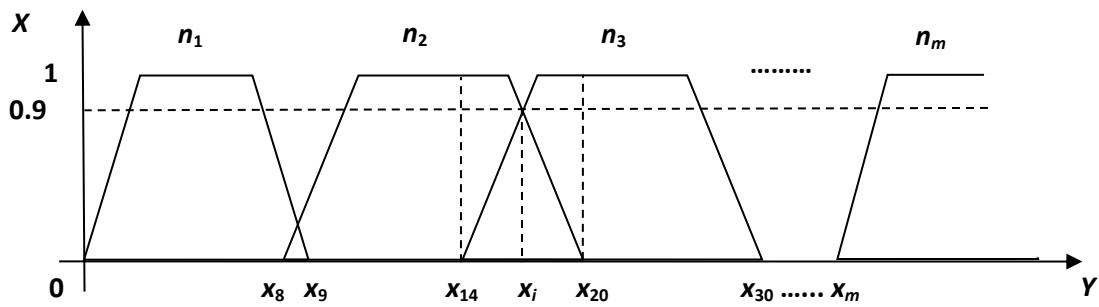


Рисунок 5.3 – Діаграма функції належності

Для розглянутого випадку визначимо відповідні домени для подання нечіткої змінної.

$$D_1 = \{n_1, n_2, n_3, \dots, n_m\};$$

$$D_2 = \{x_0, \dots, x_8, x_9, \dots, x_{14}, \dots, x_i, \dots, x_{20}, \dots, x_{30}, \dots, x_m\};$$

$$D_3 = \{0, 0.1, \dots, 1\}.$$

Задамо множину імен доменів і побудуємо відображення. Для множини імен $A = \{A_1, A_2, A_3\}$ відображення $\rho : (A_1 \rightarrow D_1; A_2 \rightarrow D_2; A_3 \rightarrow D_3)$ визначають множину атрибутів $A = \{A_1, A_2, A_3\}$ і відповідну схему відношення $S(A_1, A_2, A_3)$. Структура відношення R^f у табличному вигляді буде називатися відношенням фаззифікації. Можливі перетини діаграм фаззифікації визначають той факт, що всі значення можуть повторюватися відносно одне одного.

Наприклад, розглянемо фрагмент відношення для показників $\{x_{14}, x_i, x_{20}\}$, наведений на рис. 5.4.

Таким чином, можна говорити про відношення, що включає повний набір кортежів декартового добутку доменів $D_1 \times D_2 \times D_3$ (повний декартовий добуток, у цьому випадку, визначається скінченністю значень системи координат). Виходячи із цього факту, можна визначити, що ключем відношення буде множина всіх атрибутів $K = \{A_1, A_2, A_3\}$.

Очевидно, що інформативність кортежів визначається значеннями на діаграмі фаззифікації. У розглянутої задачі, необхідно враховувати ще один

показник – множину значень вибірки із БД, для якої будується діаграма. Тобто необхідно встановити зв'язок між доменом відношення R^f , що відображує значення осі абсцис і доменом із БД, що відображує значення параметрів фаззифікації [16–18].

A_1	A_2	A_3
n_2	x_{14}	0
n_3	x_{14}	1
n_2	x_i	0.9
n_3	x_i	0.9
n_2	x_{20}	1
n_3	x_{20}	0
...

Рисунок 5.4 – Фрагмент даних для обраних показників

Таким чином, наступна задача, яку необхідно розглянути, пов'язана з інтеграцією відношення R^f із БД, що зберігає основні показники.

Розглянемо задачу в загальному вигляді. Нехай $U(R_1, \dots, R_n)$ – БД, що зберігає основні дані, $R^f(A_1, A_2, A_3)$ – відношення фаззифікації. Задача має сенс, якщо в БД U існує параметр, для якого виконана фаззифікація.

Щоб організувати спільну роботу з базами даних U і R , формалізуємо процедуру інтеграції, спираючись на поетапну нормалізацію. Структура БД U отримана на підставі функціональних залежностей $F = \{M_i \rightarrow N_i\}$, де $M_i, N_i \in U$. Виділимо одну залежність, яка містить атрибут з параметрами фаззифікації, і позначимо її як $W \rightarrow V$, причому W і V можуть бути множинами. Відношення R^f містить одну залежність виду $F' = \{A_1, A_2, A_3 \rightarrow A_1, A_2, A_3\}$. Спираючись на аксіоми виводу, можна одержати еквівалентну множину

$$F' = \{A_1, A_2, A_3 \rightarrow A_1; A_1, A_2, A_3 \rightarrow A_2; A_1, A_2, A_3 \rightarrow A_3\}.$$

Нехай параметр фаззифікації відповідає атрибуту A_2 , тоді для визначення

типу зв'язку необхідно одержати множину $F = F \cup F'$ і розглянути два випадки, що впливають на правила нормалізації.

1. $A_2 \in W$ – пошук неповних залежностей: якщо виконуються функціональні залежності $\xi \rightarrow \zeta$ і $\omega \rightarrow \zeta$, причому $\omega \subseteq \xi$, тоді залежність $\omega \rightarrow \zeta$ є неповною.

2. $A_2 \in V$ – пошук транзитивно залежних елементів: якщо виконуються функціональні залежності $\xi \rightarrow \omega$ і $\omega \rightarrow \zeta$, тоді елемент ζ є транзитивно залежним.

Існування таких залежностей дозволить виконати коректну декомпозицію й встановити зв'язок між базами даних U і R^f .

Якщо $A_2 = W$ або $A_2 = V$, то процес декомпозиції призводить до другої або третьої нормальної форми. Якщо рівняння не виконуються, то неможливо організувати підтримку однозначності зв'язаних даних, тому що асоціація між відношеннями буде відповідати типу «багато-до-багатьох».

Як правило, на практиці умови рівняння не виконуються і для нормалізації необхідно виділити базис F і повторити процедуру декомпозиції. Враховуючи той факт, що структура БД не повинна змінюватися, необхідно зв'язати відношення фаззифікації R^f і БД U без реструктуризації схеми даних. Використовуючи діаграму моделі «сутність-зв'язок», представимо R^f і U у вигляді сутностей (рис. 5.5).

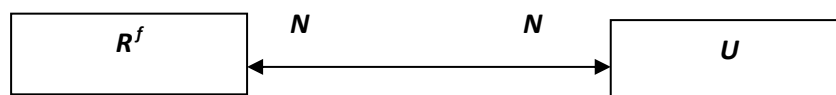


Рисунок 5.5 – Діаграма «сутність-зв'язок» між БД U і R^f

Для усунення зв'язку «N:N» запровадимо додаткову сполучну сутність, яка вирішить проблему цілісності даних за рахунок визначення нових типів зв'язків. «Сутність-зв'язок» буде містити один атрибут – сполучний для R^f і U ,

причому з об'єктивних причин він буде ключовим. На рис. 5.6 показана діаграма інтеграції БД і відношення фаззифікації з підтримкою однозначності зв'язку.

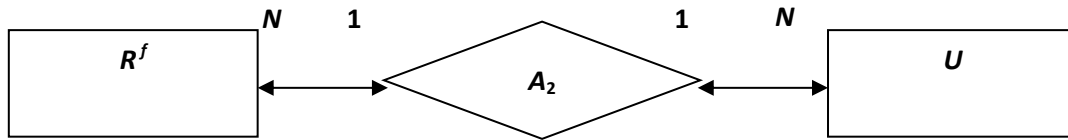


Рисунок 5.6 – Усунення зв'язку «багато-до-багатьох»

Виходячи з опису концептуальної схеми ПО можна бачити, що для коректного з'єднання R^f і U необхідно побудувати проміжну таблицю. Такий підхід гарантує погодженість даних для будь-яких параметрів фаззифікації [19].

Покажемо, що для даної задачі цілком коректні результати при виконанні з'єднання відношень з асоціацією типу «N:N». Можливі значення атрибута $A_1 \in U$ можуть повторюватися стільки разів, скільки це значення перетинає границі діаграми фаззифікації по осі ординат. Тобто кожному значенню атрибута A_1 відповідає рядок унікальних даних.

Якщо A_1 не є ключем, і значення повторюються, то, за визначенням множини, у рядку повинно бути хоча б одне відмінне значення. У термінах розв'язуваної задачі необхідно аналізувати всі такі рядки. В атрибуті A_1 відношення R^f також повторюються значення, які необхідно проаналізувати, причому в різних комбінаціях.

Таким чином, у загальному вигляді для аналізу даних, що накопичуються в реляційних базах даних, досить побудувати відношення фаззифікації й встановити зв'язок з атрибутом (атрибутами), за значеннями якого необхідно провести відповідний аналіз.

5.3 Інтегровані інформаційні системи

Інтеграція розподілених баз даних виявляється ключовою проблемою, розв'язання якої багато в чому залежить від рівня розвитку сучасних методів і засобів комп'ютеризованих інформаційних технологій. Як категорія інтегрована розподілена база даних визначає клас складних і неоднозначних інформаційних об'єктів, механізми побудови і управління якими сьогодні є найактуальнішими.

Багатоаспектність інтегрованих баз даних породжує необхідність компромісного використання цілої низки методів і засобів комп'ютерних технологій для реалізації концепції розподілених баз даних [20].

Існує кілька підходів до визначення поняття «неоднорідні бази даних». Найбільшого інтересу заслуговують два з них, що інтенсивно обговорюються останнім часом. З одного боку, бази даних, які реалізовані засобами різних СУБД є неоднорідними за відповідними їм моделями даних. З іншого боку, бази даних, які підтримуються однією СУБД, але визначаються різними концептуальними схемами, є інформаційно неоднорідними. У подальшому ми будемо використовувати поняття неоднорідності, що містить в собі обидва види неоднорідності.

Головну мету створення систем інтеграції неоднорідних баз даних можна сформулювати таким чином: інтегрована неоднорідна база даних дає змогу прикладній програмі одночасно і спільно використовувати декілька баз даних як єдине ціле.

Інтегрована сукупність різних баз даних з точки зору прикладної програми має логічно виглядати як єдина база даних.

Основна ідея інтеграції даних полягає у запровадженні уявного подання даних (віртуальної бази даних), на яке повинна відображатися кожна із баз даних, що інтегруються. Цьому рівню подання відповідає цілком визначена модель даних, в яку ефективно можуть бути перетворені моделі даних

довільних СУБД. Така модель даних у подальшому називається концептуальною моделлю інтегрованої системи. Концептуальні моделі даних, що підтримуються різними СУБД, виступають внутрішніми моделями стосовно загальної моделі [21].

Суттєвим є те, що для забезпечення умов інтеграції довільних баз даних концептуальна модель даних системи повинна містити в собі засоби, що дозволяють працювати одночасно як із структурованими, так і з неструктурованими даними. Слід зазначити, що над концептуальною моделлю даних інтегрованої інформаційної системи можуть надбудовуватися моделі даних зовнішнього рівня. Тут досить домовитися, що мови програмування і відповідні прикладні програми спираються безпосередньо на концептуальний рівень системи інтеграції.

Разом зі здатністю неоднорідних баз даних до інтеграції іншим, не менш важливим аспектом архітектури є можливість досягнення високого ступеня незалежності й мобільності прикладних програм від типу СУБД.

Відомо, що моделі даних відіграють значну роль у системах управління. Їх основні функції полягають у тому, що вони:

- є ключовими компонентами архітектури СУБД;
- служать основою розробки родин мов високого рівня для взаємодії з базами даних (мов програмування, мов запитів, мов діалогу);
- є основою розробки загальної методології проектування баз даних;
- є засобом забезпечення еволюції баз даних.

Об'єктивні обставини, такі як різні способи формального математичного опису об'єктів; різноманітність структур даних і засобів маніпулювання даними, розвинутих у мовах програмування; різноманітність предметних областей, відображених у базах даних, сприяли необмеженому зростанню кількості моделей даних і СУБД, що їх підтримують.

Однією із причин такого стану слід вважати відсутність методів формального опису й аналізу моделей даних, методів оперування моделями

даних як самостійними об'єктами. З іншого боку, розвиток архітектур СУБД, таких як трирівнева структура або архітектура систем інтеграції неоднорідних баз даних, свідчить про те, що створення таких методів, перш за все методу перетворення однієї моделі даних в іншу, є досить актуальним завданням. Саме перетворювачі моделей даних складають основу архітектур, які розглядаються.

При цьому перспективним вважається такий підхід:

- перетворення вихідної моделі даних у цільову полягає у перетворенні схем і станів конкретних баз даних у схеми і стани баз даних у цільовій моделі даних;

- перетворення операторів мови маніпулювання даними цільової моделі у послідовність операторів вихідної моделі даних.

Існуючі технології інтеграції баз даних здебільшого орієнтовані на використання реляційної моделі даних (ODBC, BDE та ін.), що забезпечує досягнення схемної однорідності за визначенням. Застосування названих технологій дає змогу стверджувати можливість формування професійного рівня схемної інтеграції розподілених баз даних. На схемному інтеграційному рівні розв'язуються завдання табличного подання даних незалежно від специфіки визначення локальних баз даних у середовищах СУБД, таких як Paradox, FoxPro, Oracle, Access та ін.

На цьому рівні інтеграції принципово важливим є існування подання всіх розподілених баз даних у вигляді реляційних схем, що гарантує досягнення схемної модельної однорідності й розв'язання цільової інтеграційної проблеми.

Іншим важливим аспектом побудови інтегрованих розподілених баз даних є та обставина, що у середовищі нових інформаційних технологій бази даних повинні володіти єдиною інфологічною та концептуальною основою [22].

Схемна однорідність реляційних баз даних не стосується проблем забезпечення єдності смислового змісту розподілених даних. Будь-яка сучасна інформаційна система оперує системами локальних баз даних як

технологічними інструментами, при цьому на перший план висувається проблема досягнення семантичної однорідності всіх інформаційних ресурсів.

Традиційно важливим аспектом побудови інтегрованих розподілених баз даних є визначення професійного інтерфейсу на рівні використання мережевих технологій доступу до розподілених баз даних.

Очевидно, що інтеграція баз даних, що перетинаються, в інтересах кількох інформаційних технологій визначає необхідність розгляду методів і засобів управління й доставки однорідних інформаційних ресурсів на основі суперпозиції механізмів маршрутизації й комунікації інформаційних потоків.

Висновки до розділу

У розділі монографії розглянуто результати досліджень у галузі інтелектуального аналізу в системах реляційних баз даних, які у сукупності розв'язують важливе науково-прикладне завдання створення, розробки та використання технології інтелектуального аналізу даних і систем нечіткої логіки з метою підвищення ефективності процесів вилучення знань в інтегрованих реляційних базах даних.

На основі застосування сучасних комп'ютерних технологій, теорії штучного інтелекту, методів нечіткої логіки, математичного апарату реляційних баз даних, методів системного аналізу, дискретної математики, теорії формальних та алгебраїчних систем наведені аналітичні засоби, застосування яких дозволило суттєво підвищити ефективність і поліпшити показники якості функціонування системи підтримки прийняття управлінських рішень за допомогою розподілених інформаційно-аналітичних систем.

Список використаних джерел

1. Filatov V.O., Yerokhin A.L., Zolotukhin O.V., Kudryavtseva M.S. Methods of intellectual analysis of processes in medical information systems. *Information Extraction and Processing*. 2020 (48). P. 92–98.

doi:10.15407/vidbir2020.48.092

2. Аврунін О.Г., Бодяньський Є.В., Семенець В.В., Філатов В.О., Шушляпіна Н. О. Інформаційні технології підтримки прийняття рішень при визначенні порушень носового дихання. Харків : ХНУРЕ, 2018. 132 с. URL: <https://doi.org/10.30837/978-966-659-235-7>

3. Аврунін О.Г., Філатов В.О., Тимкович М.Ю., Кухаренко Д.В., Пятикоп В.О. Комп'ютерне планування малоінвазивних втручань в офтальмології та нейрохірургії. Харків : ХНУРЕ, 2020. 160 с. DOI: 10.30837/978-966-659-283-8

4. Касаткина Н.В. Танянский С.С., Филатов В.А. Методы хранения и обработки нечетких данных в среде реляционных систем. *Автоматика. Автоматизация. Електротехнічні комплекси та системи*. Херсон : ХНТУ. 2009. Випуск 2 (24). С. 84–90.

5. Date K. Introduction to database systems: trans. from English. М. : Publishing House «Williams», 2001. 1072 p.

6. Martin J. Database Organization in Computing Systems : Tr. from English. М. : Mir, 1980. 662 p.

7. Cыcritis D., Lokhovskiy F. Data Models : Trans. from English. М. : Finance and Statistics, 1985. 344 p

8. Filatov V., Semenets V. and Zolotukhin O. «Data mining in relational systems». *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. 2020. №3(13). pp. 65–76. doi: 10.30837/ITSSI.2020.13.065.

9. Maltsev A.I. Algebraic systems. М. : Nauka, 1970. 392 p.

10. Gavrilova T.A., Khoroshevskiy V.F. Knowledge Base of Intellectual Systems. SPb : Peter, 2000. 384 p.

11. Dubois D., Prades A. Theory of opportunities Applications to the representation of knowledge in computer science. М. : Radio and communication, 1990. 288 p.

12. Zade L.A. The concept of a linguistic variable and its application to making

approximate decisions. M. : Mir, 1976. 165 p.

13. Zadeh L.A. Basics of a new approach to the analysis of complex systems and decision-making processes. *Math Today*. M. : Znanie, 1974. P. 5–49.

14. Asai K., Vatada D., Iwai S. et al. Applied fuzzy systems / Ed. T. Terano, C. Asai, M. Sugeno. M. : Mir, 1993. 368 p.

15. Filatov V., Avrunin O., Vlasov O. Model of semantic integration of information systems properties in relay database reengineering problems. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. 2020. № 4 (14), P. 5–12. doi:10.30837/itssi.2020.14.005

16. Filatov V., Radchenko V. Reengineering relational database on analysis functional dependent attribute. *Proceedings of the X Intern. Scient. and Techn. Conf. «Computer Science & Information Technologies» (CSIT'2015)*, 14-17 sept. 2015. Lviv, Ukraine. P. 85–88.

17. Filatov V., Kovalenko A. Fuzzy Systems in Data Mining Tasks. In: Mashtalir V., Ruban I., Levashenko V. (eds) *Advances in Spatio-Temporal Segmentation of Visual Data. Studies in Computational Intelligence*. Springer, Cham. 2020. Vol 876.. URL: doi.org/10.1007/978-3-030-35480-0_6

18. Filatov V. Fuzzy models presentation and realization by means of relational systems. *Econtechmod : an international quarterly journal on economics in technology, new technologies and modelling processes*. Lublin; Rzeszow, 2014. Vol. 3, № 3. P. 99–102. URL: http://www.pan-ol.lublin.pl/wydawnictwa/Econtechmod2014/Econ_2014_3.pdf

19. Filatov V., Doskalenko S.N. On the Approach to Searching for Functional Dependences of Data in Relational Systems. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. Kharkiv. 2018. No. 3 (1). P. 54–58. doi:10.30837/2522-9818.2018.3.054

20. Filatov, V., Semenets, V. & Zolotukhin, O. Synthesis of Semantic Model of Subject Area at Integration of Relational Databases. *2019 IEEE 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers (CAOL)*. 2019.

doi:10.1109/caol46282.2019.9019532

21. Glava M., Malakhov V. Information Systems Reengineering Approach Based on the Model of Information Systems Domains. *International Journal of Software Engineering and Computer Systems (IJSECS)*, University Malaysia Pahang. 2018. Vol. 4. P. 95–105. DOI: 10.15282/ijsecs.4.1.2018.8.0041

22. Filatov V.O., Yerokhin A.L., Zolotukhin O.V., Kudryavtseva M.S. Information space model in tasks of distributed mobile objects managing. *Information Extraction and Processing*. 2019. № 47(123). P. 80–86. URL: DOI:<https://doi.org/10.15407/vidbir2019.47.080>

РОЗДІЛ 6

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ДІАГНОСТИЦІ В РИНОЛОГІЇ

6.1 Інформаційні технології при побудові просторових моделей верхніх дихальних шляхів

У системах комп'ютерного планування хірургічних операцій одним із головних завдань є автоматизований аналіз топографо-анатомічних даних, які одержуються від засобів медичної інтроскопії [1, 2]. Кількісний аналіз цих даних дозволяє визначити конфігурацію і геометричні характеристики основних анатомічних структур, інформацію про координати, форми і розміри опорних орієнтирів та новоутворень.

Ефективність цього аналізу залежить від точності визначення анатомічних структур і ступеня автоматизації – фактично, мінімізації часу участі в підготовчому етапі обробки даних фахівця при виконання рутинних операцій.

На сучасному етапі найбільш достовірну інформацію про локалізацію анатомічних структур верхніх дихальних шляхів містять інтроскопічні зображення, які одержуються за даними рентгенівської комп'ютерної томографії [3, 4] та її модифікацій, таких як спіральна комп'ютерна томографія СКТ та конусна-променева комп'ютерна томографія [5, 6]. Ці методи є найбільш оптимальними за сукупністю основних показників, таких як роздільна здатність, контрастність відображення різних за щільністю анатомічних структур, інтерпретує мості результатів візуалізації і доступності [7, 8], та на відміну від магнітно-резонансної томографії, зменшують імовірність появи гіпердіагностики [1, 9].

Приклад візуалізації томографічного зрізу носової порожнини за даними СКТ на аксіальному зрізі та мультипланарна реконструкція у фронтальній проекції наведені на рис 6.1, а та 6.1, б, відповідно.



а

б

Рисунок 6.1 – Приклад візуалізації томографічного зрізу носової порожнини за даними СКТ на аксіальному зрізі (а) та мультипланарна реконструкція у фронтальній проекції (б)

Для візуалізації томографічних даних, що представляють собою 3-х мірний масив значень інтенсивності, найбільш відповідної за принципом зберігання даних є воксельна модель, яку можна уявити як скалярне поле (scalar field) – відображення досліджуваної просторової області у вигляді дискретної скалярної функції коефіцієнтів лінійного ослаблення рентгенівського випромінювання, яка визначена в просторі трьох незалежних змінних

$$V(i, j, k) \equiv V(x_i, y_j, z_k), \quad (6.1)$$

де

$$\begin{aligned} x_i &= x_0 + i\Delta x, \\ y_j &= y_0 + j\Delta y, \\ z_k &= z_0 + k\Delta z. \end{aligned}$$

Масив $V(i, j, k)$ є об'ємною множиною даних (volumetric data set). Кожне значення $V(i, j, k)$ можна вважати результатом усереднення величини скалярного поля у правильному паралелепіпеді зі сторонами $\Delta x, \Delta y, \Delta z$, центр

якого знаходиться в точці (x_i, y_j, z_k) . При цьому, область простору, що розглядається, поділяється на елементарні об'єми, фактично, на основі методу тривимірної дискретизації, і кожен елемент обсягу – воксел (від voxel – volume element) геометрично характеризується координатами і розмірами, а також одним або декількома скалярними значеннями в залежності від типу яких виконується класифікація воксельних моделей [1, 10, 11].

Для завдань комп'ютерного моделювання і планування хірургічних втручань доцільно використовувати модифіковану узагальнену воксельну модель, яка містить дані як про інтенсивність елементів об'єму, так і відомості про їх належність до певних анатомічних структур, а також додаткові характеристики (ідентифікатори), наприклад, щодо ступеня ризику пошкодження функціональних областей, їх фізичних властивостей та ін. Причому, для зберігання перерахованих вище даних пропонуються спеціальні структури – графічні буфери (G-буфери – Graphic buffers) RGB, N (характеристичний) і ID (ідентифікаційний), відповідно. Такий вид представлення об'ємних даних досліджуваної анатомічної області фактично є інформаційною воксельною моделлю для комп'ютерного планування хірургічних втручань (див. рис. 6.2).

Модель складається з даних вихідної напівтонової воксельної моделі, на основі яких формуються бінарні воксельні моделі окремих анатомічних об'єктів, а так же блоків формування узагальненої і ідентифікаційної воксельної моделей. Стандартна воксельна модель згідно з формулою (6.1) задає дискретний просторовий об'єкт з точністю, яка визначається здатністю 3-х вимірному масиву (розмірами вокселів $\Delta x, \Delta y, \Delta z$) і є структурованою множиною даних (structured data set), оскільки при його зберіганні не вимагається інформація про розміщення кожної вибірки в просторі.

Спочатку напівтонова і бінарні воксельні моделі є структурованими, причому бінарні воксельні моделі спочатку формуються в блоці H_S як

структуровані $(H_{S_1}, H_{S_2}, \dots, H_{S_n})$, де позначає загальну кількість відображуваних анатомічних об'єктів.

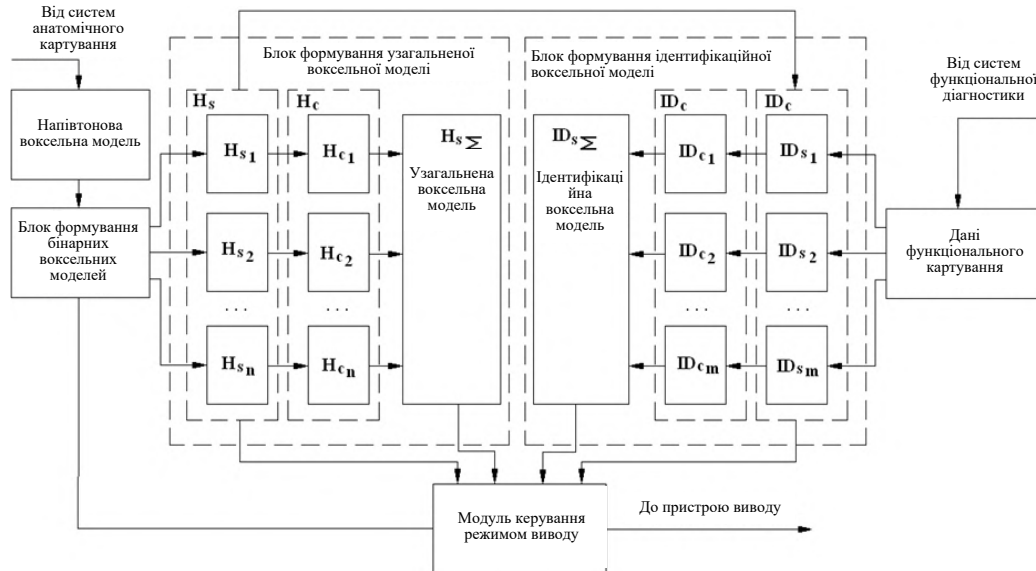


Рисунок 6.2 – Структура перетворення даних в інформаційній воксельній моделі для комп'ютерного планування ринохірургічних втручань

З огляду на те, що більшість об'єктів області візуалізації має малу площу (до 1000 елементів зображення) і розташовані, в середньому, не більше ніж на 50 томографічних зрізах (з 250 при стандартному томографічному дослідженні), доцільно зберігати дані бінарних воксельних моделей в координатних буферах H_C , де для кожного вокселю, що має середнє арифметичне значення характеристичної функції, будуть записуватися тільки його три двобайтові координати (i, j, k) .

При цьому об'єм пам'яті, який необхідний для зберігання даних воксельної моделі в координатному буфері, буде в середньому до 200 разів менше, ніж у структурованому. Якщо для бінарної воксельної моделі використовувати однобітове кодування, то перевага від застосування структурованого буфера зменшується приблизно на порядок, проте все одно становить більше ніж 20 разів. Аналогічне перетворення моделей збереження

даних застосовується також і для ідентифікаційного буфера, куди надходять дані функціонального картування для формування додаткової інформації на основі об'єктів бінарних воксельних моделей. Модуль управління режимом виведення за командами фахівця виконує вибір необхідної моделі (H_S, ID_S – бінарних структурованих, $H_{S\Sigma}$ і $ID_{S\Sigma}$ – узагальненої та ідентифікаційної воксельних моделей, відповідно) для візуалізації.

В незалежності від виду конкретної моделі представлення об'єму при візуалізації кожного вокселя виконується процедура графічного виводу

$$Voxel_output(i, j, k, \Delta x, \Delta y, \Delta z, r, g, b, \alpha_c), \quad (6.2)$$

де i, j, k – дискретні координати вокселю (однієї з його базових вершин),

$\Delta x, \Delta y, \Delta z$ – розміри вокселю за відповідними осями координат,

r, g, b – колірні складові рівня інтенсивності в системі *RGB*,

α_c – ступінь прозорості вокселя (α -канал).

Таким чином, наприклад, для відображення узагальненої воксельної моделі за пошаровими томографічними даними необхідно визначити кількість зрізів, розміри зображення, діапазон рівнів інтенсивності що візуалізуються, а також координати, розміри, колір і ступінь прозорості елементів об'єму що виводяться.

Для виконання стандартних процедур 3-х мірної візуалізації доцільно використовувати прикладні програмні інтерфейси API, наприклад, OpenGL [12, 13], що забезпечують виконання таких базових функцій, як опис примітивів і їх атрибутів, управління видовими параметрами і геометричними перетвореннями.

При безпосередній візуалізації об'ємних даних доцільно застосовувати модифікований метод буфера глибини, який за рахунок зберігання додаткової інформації про ідентифікацію, ступень прозорості та врахування інтенсивності елементів, що знаходяться на промені проектування, буде виконувати

графічний вивід.

При воксельної візуалізації (див. рис. 6.3) відображаються з заданим рівнем деталізації внутрішні анатомічні структури носової порожнини, такі як кістки, м'які тканини та повітряні порожнини дихальних шляхів. Причому різним анатомічним структурам в узагальненій воксельній моделі відповідають свої рівні інтенсивності або кольору в режимі відображення з псевдозабарвленням (див. рис. 6.4), або можна виконувати візуалізацію в режимі напівпрозорості навколишніх тканин.

Для апроксимації поверхонь анатомічних об'єктів при візуалізації використовуються вершини зовнішніх граней (прямокутників) їх граничних вокселів. Далі виконується процедура триангуляції – перетворення отриманої полігональної області зі складною конфігурацією в набір трикутників. Вибір трикутників як графічних примітивів пояснюється тим, що трикутник є найпростішим полігоном, вершини якого однозначно задають грань, а також меншою обчислювальною складністю алгоритмів розбиття і візуалізації, які в більшості сучасних графічних станцій реалізуються апаратно.

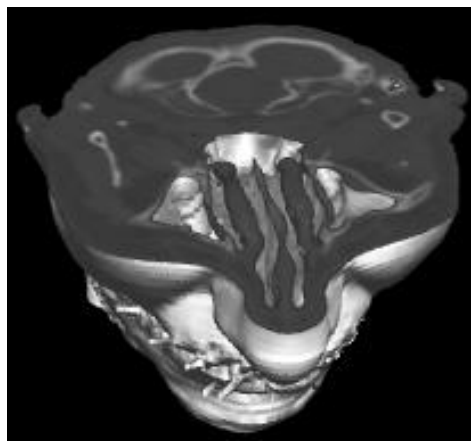
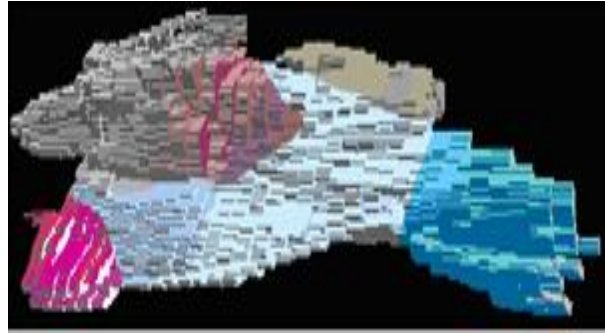


Рисунок 6.3 – Ілюстрація воксельної візуалізації СКТ-даних верхніх дихальних шляхів

Графічний вивід, фактично заданих полігонами анатомічних даних в API OpenGL, доцільно проводити за допомогою команди `GL_TRIANGLES`, яка

виконує вивід серії трикутників, що задаються використовуючи трійки вершин (v_0, v_1 і v_2), (v_3, v_4 і v_5) і т.д. Перевагою команди є відсутність умови на наявність трикутників із загальними вершинами, хоча, через дублювання інформації про координати загальних вершин, пам'ять використовується неоптимально.



а

Рисунок 6.4 – Приклади візуалізації узагальненої воксельної моделі верхніх дихальних шляхів з визначенням окремих відділів носової порожнини та придаткових пазух

При візуалізації воксельного об'єму для черепа (без внутрішньої структури) необхідно виводити близько 1,2 млн полігонів, а при візуалізації повної воксельної моделі голови близько 30 млн полігонів.

Для багаторакурсної візуалізації просторових моделей застосовуються афінні перетворення координат об'єктів [12]

$$\begin{cases} X = Ax + By + Cz + D; \\ Y = Ex + Fu + Gz + H; \\ Z = Kx + Ly + Mz + N, \end{cases}$$

де A, B, \dots, N – константи, що відповідають за вид перетворення [12], а (x, y, z) і (X, Y, Z) – координати об'єктів до і після перетворення, відповідно.

При обчисленнях використовувалася матрична форма подання перетворень в однорідних координатах, як найбільш обчислювально-оптимальна для сучасних графічних програмно-апаратних засобів.

Виходячи з розглянутих задач, підсистема обробки і відображення інтраскопічних даних анатомічного картування верхніх дихальних шляхів повинна включати в себе наступні модулі (рис. 6.5):

- модуль зберігання даних анатомічного картування, який одержує і зберігає вхідні діагностичні дані від системи інтроскопічної діагностики, а також додаткову інформацію про діагностичні зображення, таку як тип протоколу обстеження, параметри вікна візуалізації, відомості про можливості мультимодального сполучення наборів вхідних зображень та ін.;

- модуль вторинної обробки та аналізу даних, в якому виконується попередня обробка інтраскопічних зображень, спрямована на усунення локальних перешкод, а також первинна сегментація і розмітка елементів зображень, що належать анатомічним структурам;

- модуль візуалізації в режимі 2D, що виконує візуалізацію окремих томографічних зрізів з можливістю вибору віконних функцій відображення інтенсивності;

- модуль візуалізації мультіпланарних реконструкцій, що дозволяє відображати зображення томографічних зрізів в площинах, які не паралельні базовій площині томографічного сканування;

- модуль візуалізації в режимі 2,5D, що виконує поєднане відображення вхідних томографічних зображень і даних графічних G-буферів, в яких містяться значення бінарних характеристичних функцій окремих анатомічних структур;

- модуль формування 3D моделі представлення даних, в якому виконується вибір і побудова моделі просторового (воксельного або поверхневого) відображення даних інтраскопічного картування;

- модуль 3D обробки даних, що включає в себе методи просторової фільтрації і сегментації даних, а також формування структурованих і координатних буферів для побудови і зберігання інформаційної моделі представлення інтраскопічних даних комп'ютерного хірургічного планування;

- модуль поверхневої візуалізації, в якому виконується побудова полігональних поверхонь анатомічних структур;
- модуль об'ємної візуалізації, в якому виконується відображення воксельних (напівтонової, бінарних, узагальненої і ідентифікаційної) моделей представлення інтраскопічних даних комп'ютерного планування хірургічних втручань.

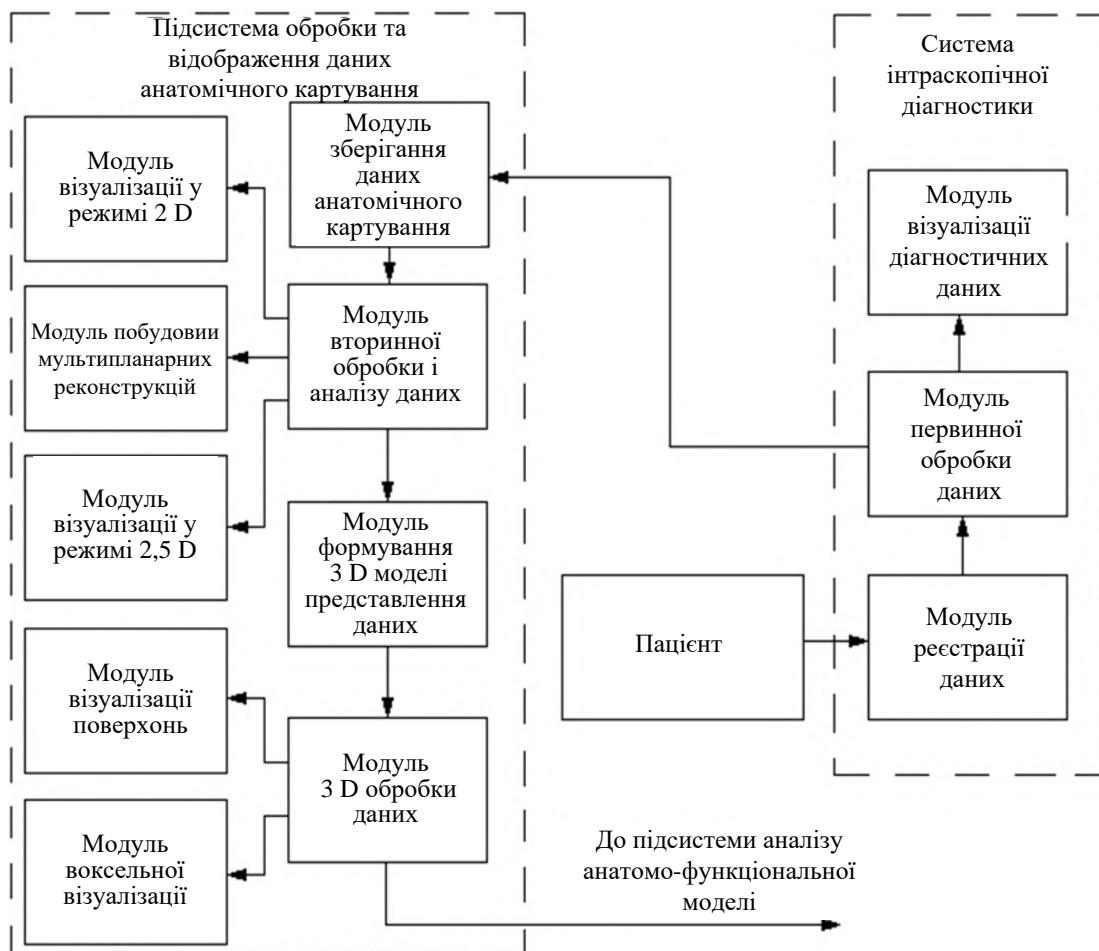


Рисунок 6.5 – Структурна схема підсистеми обробки і відображення інтраскопічних даних анатомічного картування

При цьому необхідно враховувати чіткий просторово-функціональний розподіл структурних модулів підсистеми обробки і відображення даних анатомічного картування від компонент системи інтроскопічної діагностики,

яка за допомогою модуля реєстрації даних (наприклад, томографічної установки) отримує набір діагностичних зображень від пацієнта і після виконання первинної попередньої обробки виконує візуалізацію діагностичної інформації.

6.2 Моделювання аеродинамічних процесів в носовій порожнині

Коефіцієнт аеродинамічного носового опору при диханні можна визначити за набором перерізів повітряного каналу носової порожнини, отриманих за томографічними даними, приклад яких наводиться на рис. 6.6 [14, 15], згідно з алгоритмом, який наведено у [13]. Суть даного підходу полягає у розрахунку опору повітряному потоку (при диханні) носової порожнини, що представляється як канал складної конфігурації [14], що отримується на основі побудови сегментованих геометричних моделей за томографічними даними.

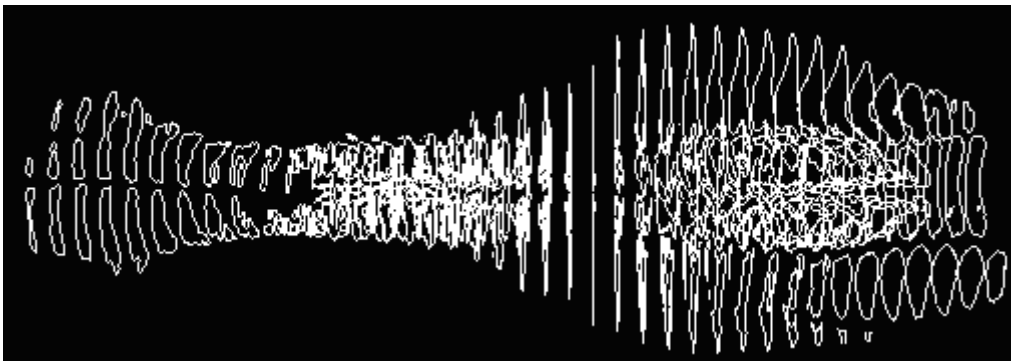


Рисунок 6.6 – Ілюстрація набору фронтальних перерізів носової порожнини в сагітальній проекції за результатом сегментації томографічних даних

При розрахунку втрат тиску в трубопроводах складної конфігурації, до яких відносяться паралельні канали носових ходів, витрата повітря через кожен з них (Q_1, Q_2) дорівнює сумарної Q_Σ , виходячи з рівняння нерозривності згідно [14, 15]

$$Q_{\Sigma} = Q_1 + Q_2 . \quad (6.3)$$

Втрати тиску в кожному носовому каналі визначають виходячи з сталості перепаду тисків між загальними входом (атмосферний тиск) та виходом у носоглотку (куди носові проходи виходять) згідно з виразом за законом Паскаля

$$\Delta p_1 = \Delta p_2 = \Delta p = const , \quad (6.4)$$

тому, втрати тиску можна виразити як

$$\Delta p_1 = \Delta p_{l,1} + \Delta p_{L,R,1} = \sum \lambda_1 \rho_1 \frac{\Delta l_1}{d_r} \frac{Q_1^2}{2S_1^2} + \sum \xi_1 \rho_1 \frac{Q_1^2}{2S_1^2} = Q_1^2 A_1 , \quad (6.5)$$

$$\Delta p_2 = \Delta p_{l,2} + \Delta p_{L,R,2} = \sum \lambda_2 \rho_2 \frac{\Delta l_2}{d_r} \frac{Q_2^2}{2S_2^2} + \sum \xi_2 \rho_2 \frac{Q_2^2}{2S_2^2} = Q_2^2 A_2 , \quad (6.6)$$

де Δp_l и $\Delta p_{L,R}$ – втрати тиску за довжиною та на місцевих опорах для відповідних ділянок кожного каналу, Δl – довжина каналу або його ділянки, м,

S – площа ділянки каналу, м²,

d_h – гідравлічний (еквівалентний) діаметр ділянки каналу [14],

ρ – щільність повітря, $\rho = 1,205$ кг/м³,

ξ – безрозмірний коефіцієнт місцевих гідравлічних втрат,

λ – безрозмірний коефіцієнт гідравлічного тертя (коефіцієнт Дарсі), який дорівнює $\lambda = 64 / Re$ для ламінарного та $\lambda = 0,32 / Re^{0,25}$ для турбулентного режимів течії повітря, відповідно [14],

A_1 и A_2 – постійні значення для аеродинамічних опорів носових проходів, що визначаються з формул (6.5) та (6.6) як

$$A_1 = \sum \lambda_1 \rho_1 \frac{\Delta l_1}{d_r} \frac{1}{2S_1^2} + \sum \xi_1 \rho_1 \frac{1}{2S_1^2} , \quad (6.7)$$

$$A_2 = \sum \lambda_2 \rho_2 \frac{\Delta l_2}{d_r} \frac{1}{2S_2^2} + \sum \xi_2 \rho_2 \frac{1}{2S_2^2} . \quad (6.8)$$

На рисунку 6.7 наведено приклад зміни коефіцієнта аеродинамічного носового опору вздовж перетинів носової порожнини при правосторонньому

локальному викривленні носової перегородки для правого (а) та лівого (б) носових проходів, відповідно. На рисунку можна бачити різке (близько у 1,5 рази) зростання коефіцієнту аеродинамічного опору в правому носовому проході (в сторону якого викривлена носова перегородка), при порівнянні з лівим носовим проходом.

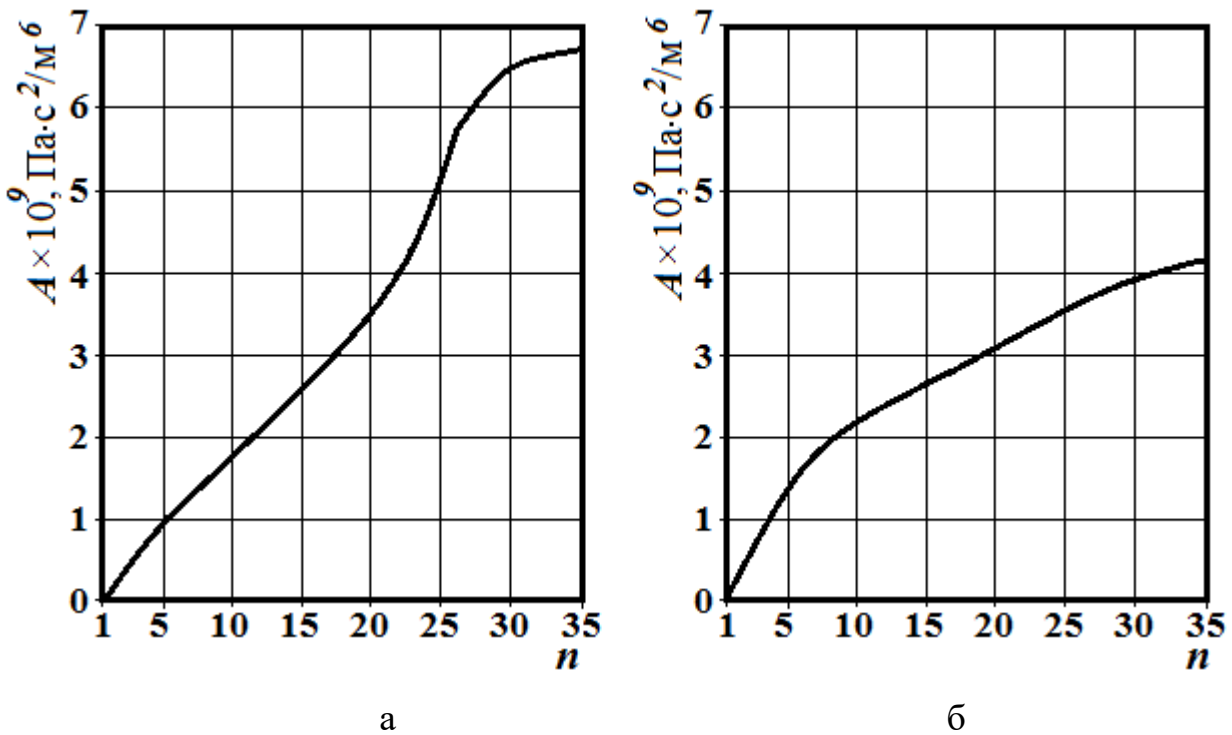


Рисунок 6.7 – Приклад зміни коефіцієнта аеродинамічного носового опору вздовж перетинів носової порожнини при правосторонньому локальному викривленні носової перегородки для правого (а) та лівого (б) носових проходів

З урахуванням наведених вище формул (6.7) та (6.8), для ламінарного та турбулентного режиму перепади тиску визначаються згідно з формулами

$$\Delta p_1 = \Delta p_2 = \Delta p = Q_1 \cdot A_1^{(D)} = Q_2 \cdot A_2^{(L)};$$

$$\Delta p_1 = \Delta p_2 = \Delta p = Q_1^2 \cdot A_1^{(T)} = Q_2^2 \cdot A_2^{(T)}.$$

Експериментальна перевірка цих даних може здійснюватися за даними передньої або задньої активної риноманометрії [15, 16], з урахуванням режиму дихання та індивідуальної фізіологічної варіабельності, яким відповідають

показники перепаду тиску на носовій порожнині та відповідної витрати повітря.

Розраховані дані про показники носового опору можна порівняти з безпосередньо одержуваними за допомогою методів задньої або передньої активної риноманометрії, при яких безпосередньо вимірюються перепад тиску Δp на носовій порожнині і викликаний ним витрата повітря Q при диханні. За отриманими даними обчислюється коефіцієнт аеродинамічного носового опору для турбулентного режиму течії повітря

$$A = \frac{\Delta p}{Q^2},$$

який буде відповідати або інтегральному показнику аеродинамічного носового опору, або відповідного носового проходу (згідно з формулами (6.6) та (6.8)) в залежності від методу вимірювання.

Таким чином, можна отримати експериментальну оцінку аеродинамічних показників носової порожнини, проте із застосуванням додаткового функціонального методу дослідження, що з огляду на низьку поширеність риноманометричної апаратури в клініках не завжди можливо. Крім того неможливо визначити тип аеродинамічного опору та розташування анатомічних структур, які його викликають. Недоліком запропонованого розрахункового методу є досить велика обчислювальна складність, яка пов'язана із проведенням сегментації анатомічних структур носової порожнини та побудовою аеродинамічної моделі верхніх дихальних шляхів.

6.3 Доказові методи до визначення ольфакторно-респіраторних порушень

Метод задньої активної риноманометрії можливо використовувати для тестування респіраторно-ольфакторних порушень [17, 18], що особливо важливо для тестування пацієнтів під час реабілітації після перенесення COVID-19 з втратою нюху. Це можливо шляхом визначення енергетичних

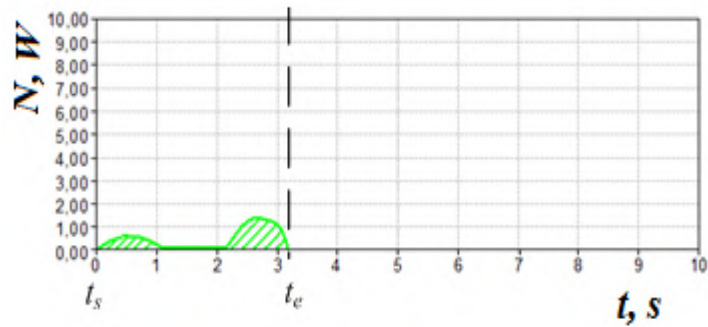
характеристик дихання при дії одоривекторів – пахучих речовин необхідних концентрацій. Ілюстрація комп'ютерного риноманометра – пристрою для тестування носового дихання з блоком перепадно-витратних характеристик ТНДА-ПРХ (дослідне виробництво ХНУРЕ [16]) з ольфактометричною насадкою наведена на рисунку 6.8. Конструкція ольфактометричної насадки містить контейнер для одоривектора (наприклад, гігроскопічна циліндрична кільцева прокладка, що просочена розчином специфічної пахучої речовини в повітряному тракті риноманометра) з регульованими повітряними отворами. Пацієнт виконує дихальні маневри з наростанням їх інтенсивності, що можна бачити за циклограмою дихання, та фіксує натисканням на кнопку час отримання чутливості до пахучої речовини. Далі за циклограмами перепаду тиску $\Delta p(t)$ та витрати повітря $Q(t)$ та виконується розрахунок пневматичної потужності $N(t)$ циклограми дихання згідно з формулою

$$N(t) = \Delta p(t) \cdot Q(t) \quad (6.9)$$

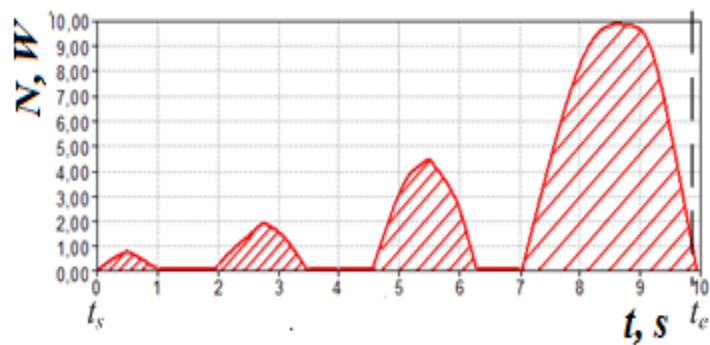


Рисунок 6.8 – Комп'ютерний риноманометр ТНДА-ПРХ з ольфактометричною насадкою

Відповідні графіки пневматичної потужності при диханні в нормі і при порушенні ольфакторної чутливості (із зазначенням пунктирною лінією t_c часу появи чутливості до одоривектору) наводяться на рис. 6.9.



а



б

Рисунок 6.9 – Циклограми пневматичної потужності при носовому диханні: а – при умовній нормі, б – при порушенні нюхової чутливості внаслідок риносинуситу

Визначення енергії E дихання, що характеризує колориметричні витрати на дихання при появі чутливості до одорівектору, виконується інтегруванням даних циклограми пневматичної потужності дихання (6.9) за формулою

$$E = \int_{t_s}^{t_e} N(t) dt \quad (6.10)$$

де t_s – стартовий час дослідження, як правило, приймається рівним 0;

t_e – час появи чутливості до одорівектору.

Інтегрування виконується чисельно методом трапецій.

Експериментальним шляхом на основі проведених досліджень була розроблена класифікація ступеня порушення сприйняття запахів

$E \leq 2$ Дж – умовно нормальний нюх;

$2 < E \leq 8$ Дж – середній ступінь дізосмії;

$8 < E \leq 16$ Дж – важка ступінь дізосмії;

$E > 16$ Дж – практично повна дізосмія.

Для дослідження нюхової чутливості застосовуються три нюхові речовини різної рецепторної дії: розчин валеріани з концентрацією 0,05%, який обумовлений нервом n. olfactorius, оцтова кислота 0,04%, що обумовлена n. trigemini та нашатирний спирт 0,004%, який обумовлений n. Glossopharyngeus [17, 18]. Також для тестування пацієнтів, що перенесли COVID-19 зі стійкою втратою нюху, доцільно використовувати метод дихальної реабілітації, який складається на основі визначення максимальної ольфакторної чутливості до побутових одорантів (кофе, часник, ефірні масла та деякі інші) та проведення стимуляційного тренінгу шляхом вдихання відповідного запаху з високим сприйняттям. Поріг ольфакторної чутливості можна визначати в автоматизованому режимі шляхом аналізу циклів дихання (рис. 6.10).

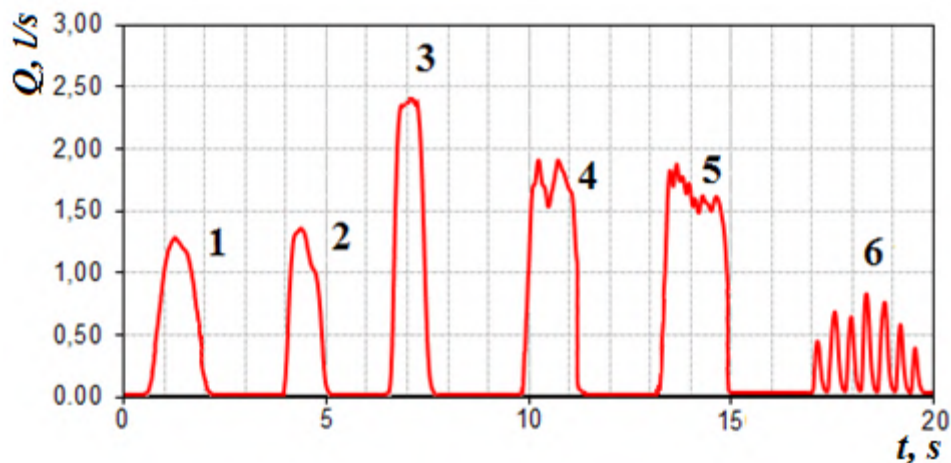


Рисунок 6.10 – Варіанти дихальних циклів:

- 1, 2 – спокійне дихання (норма); 3 – форсоване дихання (ригідність носового клапана); 4, 5 – форсоване дихання – ступінчастий вдих (нормально-функціонуюча рухливість носового клапана); 6 – ступінчастий вдих - «принюхування»

Дослідження даних риноманометрії в динамічному режимі (з візуалізацією циклограм дихання) відкривають нові можливості при аналізі та

інтерпретації результатів тестування носового дихання [17, 19-21]. Так, на рис. 3.7 для зміни витрати повітря наведені типові цикли вдиху при спокійному диханні в нормі (1 і 2, відповідно).

У форсованому режимі дихання можна бачити при ригідному носовому клапані на рис. 6.10 (цикл 3) та при носовому клапані з нормальною функціональною рухливістю, що обмежує потік повітря з характерною усіченою вершиною на циклограмі (цикли 4 та 5, відповідно), а також цикл ступінчастого вдихання (6) – коротке «потягування» повітря, яке можна охарактеризувати, як своєрідне «принюхування», що ілюструється високочастотним биттям сигналу на діаграмі витрати повітря.

При відчутті одорівектора в нормі у випробуваного поблизу досягнення порогу відчуття (при підвищенні інтенсивності дихання) довільно короткочасно частішає дихання та при настанні порога відчуття дихальні цикли (після 4-го дихального циклу) на рис. 6.11 перетворюються в «принюхування», що сприяє більш глибокому проникненню повітря в нюхову область та розпізнаванню запаху. Цей момент часу можна характеризувати як настання порога відчуття T одорівектора на циклограмі на рисунку 6.11).

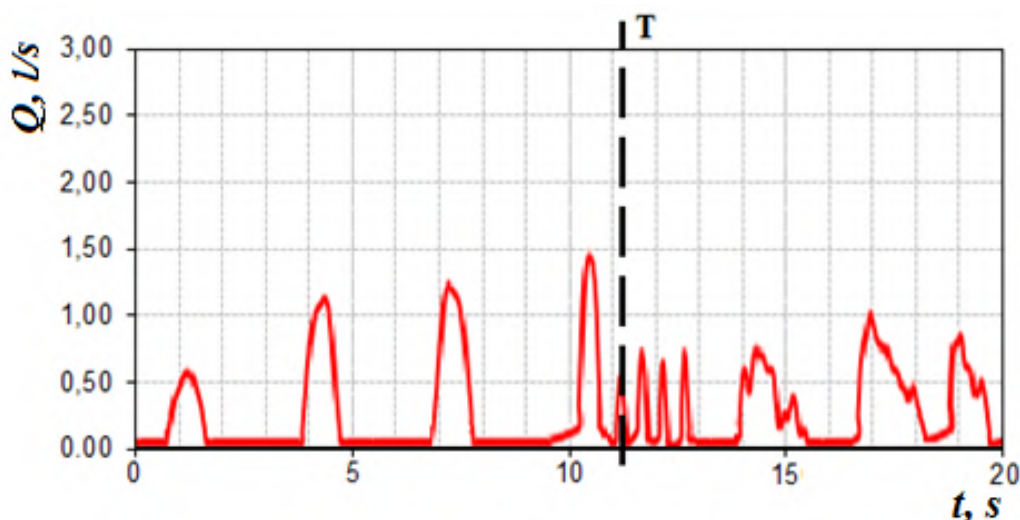


Рисунок 6.11 – Циклограма витрати повітря при носовому диханні
(T – поріг відчуття)

Висновки до розділу

Для завдань комп'ютерного планування ринохірургічних втручань доцільно використовувати інформаційну модель представлення даних, яка характеризує дискретну просторову операційну область і представляє собою структуру ідентифікаційних графічних G-буферів, що включає узагальнену воксельну модель, яка містить інформацію про приналежність виділених елементів об'єму до певних анатомічних структур, і додаткові характеристики (ідентифікатори об'єктів), наприклад, дані функціонального картування, фізичні властивості і ступінь ризику пошкодження функціональних областей. Модель може представлятися в структурованому (для візуалізації) або координатному (для збереження) видах в залежності від конкретної необхідності.

Просторову візуалізацію додаткової діагностичної інформації доцільно виконувати в режимах 2,5D і 3,5D, що дозволяє наочно відобразити фізичні процеси в носовій порожнині і виконати анатоמו-функціональне картування верхніх дихальних шляхів [22, 23]. При цьому, необхідно використовувати ефективні алгоритми автоматизованої сегментації анатомічних структур на томографічних зображеннях, які дозволяють за рахунок застосування процедур поелементної пост-обробки бінарних характеристичних функцій, які отримуються пороговим методом, забезпечити усунення локальних артефактів [24] і розмітку анатомічних структур в автоматичному режимі.

Встановлено, що при визначенні коефіцієнта аеродинамічного носового опору за аналізом даних комп'ютерної томографії необхідно враховувати не тільки втрати тиску за довжиною носової порожнини, а й на локальних (місцевих) опорах, вивчення впливу яких на процеси назальної аеродинаміки потребує окремих досліджень, у тому числі на натурних моделях верхніх дихальних шляхів.

Основними практичними рекомендаціями при діагностиці порушень носового дихання та комп'ютерному плануванні оперативних втручань є необхідність об'єднувати висновки аеродинамічного моделювання за даними

комп'ютерної томографії та результати риноманометричної діагностики для адекватної інтерпретації та незалежної верифікації методів тестування носового дихання та проведення віртуального моделювання результату втручань для отримання прогностичних даних щодо їх функціональних наслідків.

За рахунок розміщення носія пахучої речовини в повітряному тракті риноманометра, а також процедур визначення енергетичних характеристик дихання, вдалося зв'язати параметри дихання з показниками нюхової функції, що в свою чергу дозволяє проводити ефективне респіраторно-нюхове тестування порушень на доказовому рівні.

Список використаних джерел

1. Аврунін О.Г., Безшапочний С.Б., Бодянський Є.В., Семенець В.В., Філатов В.О. Інтелектуальні технології моделювання хірургічних втручань. Харків : ХНУРЕ, 2018. 224 с.

2. Аврунін О.Г., Бодянський Є.В., Семенець В.В., Філатов В.О., Шушляпіна Н.О. Інформаційні технології підтримки прийняття рішень при визначенні порушень носового дихання: монографія. Харків : ХНУРЕ, 2018. 125 с.

3. Аврунин О.Г. Визуализация верхних дыхательных путей по данным компьютерной томографии. *Радиоэлектроника и информатика*. 2007. № 4. С. 119–122.

4. Носова Я.В., Шушляпина Н.О., Носова Т.В. Визуализация обонятельной щели. *Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. Х. : НТУ «ХП». 2015. № 39 (1148). С. 73–77.

5. Tymkovych M., Avrunin O., Paliy V. et al., Automated method for structural segmentation of nasal airways based on cone beam computed tomography. *Proc. SPIE*, 10445, 446–453 (2017). doi: 10.1117/12.2280922

6. Avrunin O., Nosova Ya., Shushliapina N., Khudaieva S., Ibrahim Younouss Abdelhamid Hardware-software complex for studying the effect of air composition

on the aerodynamic parameters of nasal breathing. *Proceedings of the XV International Scientific and Practical Conference «International Trends in Science and Technology»*, Warsaw, Poland. Vol.1, 2019. P. 17–20.

7. Руководство по ринологии / под ред. Г.З. Пискунова. М. : Литтерра, 2011. 960 с.

8. Безшапочний С.Б., Лобурець В.В., Мішарев Д.В. Комп'ютерна томографія в ендоскопічній ендоназальній функціональній хірургії. *ЖВНГХ*. 2001. № 3. С. 13–14.

9. Безшапочний С.Б., Лобурець В.В. *Сучасні аспекти риносинуситів. Клінічна імунологія. Алергологія. Інфектологія*. 2007. № 6. С. 43–48.

10. Tymkovich M.Y., Avrunin O.G. Farouk H.I. Reconstruction method of the intact surface of surgical accesses. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2014, 9(70), 37–41.

11. Avrunin O.G. Using a priori data for segmentation anatomical structures of the brain / O.G. Avrunin, M.Y. Tymkovich, S.P. Moskovko, et. al. *Przegląd Elektrotechniczny*: doi:10.15199/48.2017.05.20. 2017. V. 93-5. P. 102–105.

12. Хилл Ф. Программирование компьютерной графики. Для профессионалов : пер. с англ. СПб.: Питер, 2002. 1088 с.

13. Книгавко Ю.В., Аврунин А.Г. Алгоритмы программного рендеринга трехмерной графики для задач медицинской визуализации. *Техническая электродинамика*. 2010. С. 258–261.

14. Аврунін О.Г., Бодянський Є.В., Семенець В.В., Філатов В.О., Шушляпіна Н.О. Інформаційні технології підтримки прийняття рішень при визначенні порушень носового дихання: монографія. Харків : ХНУРЕ, 2018. 125 с.

15. Аврунин О.Г. Томашевский Р.С., Фарук Х.И. Методы и средства функциональной диагностики внешнего дыхания. Харьков : ХНАДУ, 2015. 208 с.

16. Аврунин О.Г., Бых А.И., Семенец В.В. Обоснование основных

медико-технических требований для проектирования многофункционального риноманометра. *Функциональная компонентная база микро-, оптои наноэлектроники*: сб. науч. тр. III Междунар. науч. конф., 28 сент. – 2 окт. 2010 г. Х. : Казивели: ХНУРЭ, 2010. С. 280–281.

17. Сучасні методи діагностики респіраторно-ольфакторної функції: монографія / О.Г. Аврунін, Я.В. Носова, В.В. Семенець, В.О. Філатов, Н.О. Шушляпіна. Харків : ХНУРЕ, 2021. 150 с. ISBN 978-966-659-300-2.

18. Особливості виникнення синусоназальної дизосмії, що асоційована з COVID-19 / Є.П. Слупська, Н.О. Шушляпіна, Абделхамід Ібрагім Юнусс, Я.В.Носова, О.Г. Аврунін. *Шляхи розвитку науки в сучасних кризових умовах*: тези доп. I міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 28–29 травня 2020 р. Дніпро, 2020. Т. 2. С. 349–351.

19. Носова Я.В. Анализ энергетических характеристик носового дыхания при ольфактометрических исследованиях / Я.В. Носова, Хушам Фарук, Н.О. Шушляпина. Материалы XIII Международной научно-технической конференции «Физические процессы и поля технических и биологических объектов», 07-09 ноября, 2014 г., Кременчуг: КрНУ, 2014. С. 83.

20. Wójcik W., Pavlov S., Kalimoldayev M. Information Technology in Medical Diagnostics II. London: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. 2019. 336 p., <https://doi.org/10.1201/9780429057618>.

21. Аврунин О.Г., Семенец В.В., Щапов П.Ф. Сравнение дискриминантных характеристик риноманометрических методов диагностики. *Радіотехніка*. 2011. 164. С. 102–107.

22. Бажан О.В., Аврунін О.Г., Тимкович М.Ю. Використання технологій віртуальної реальності в пластичній хірургії. *I Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених, курсантів та студентів «Авіація, промисловість, суспільство»*, Кременчук. 2018. С.184.

23. Тымкович М.Ю., Аврунин О.Г., Семенец В.В. Использование DICOM-изображений в медицинских системах. *Техн. электродинамика: тематич. вып.*

2012. Т.4. С. 178–183.

24. Сипитый В.И., Бабалян Ю.А., Аврунин О.Г. Особенности применения методик 2D и 3D компьютерной томографии при моделировании имплантатов для краниопластики фронтоорбитальных костных дефектов. *Медицина сегодня и завтра*. 2007. № 4. С. 60–63.

ВИСНОВКИ

Нова ера суспільного та промислового розвитку характеризується зростаючою роллю інтелектуальних технологій в усіх сферах діяльності людини. Ключовими трендами сучасної парадигми світу є активізація глобалізаційних процесів, орієнтація на екологічно чисті та ощадливі технології, зростаюча роль інформаційно-комунікаційних процесів і систем, обов'язковими передумовами реалізації цих векторів розвитку сьогодні є активні діджиталізація, цифровізація та інформатизація управлінських процесів і механізмів прийняття рішень.

Інтелектуальні системи на сьогодні продемонстрували свої унікальні можливості в різних галузях техніки та економіки, в тому числі, міжгалузевих, біоінформатиці, нейропсихології, синергетиці, теорії машинного навчання та самоорганізації. Авторами монографії досліджено особливості, а також проблеми та перспективи використання інтелектуальних систем автоматизації в різних сферах суспільної діяльності.

1. Встановлено, що інтелектуальні технології знаходяться в безперервному розвитку. В даний час для реалізації технології експертних систем, нечітко-логічних і нейромережових систем, а також технології багатоагентних систем є досить потужні інструментальні засоби. Розвиваються нові технології в області так званих нейроморфних систем, паралельних обчислень і квантових комп'ютерів. При цьому розвиток інтелектуальних інформаційних і керуючих систем дає все більш значущі практичні результати.

2. Світова спільнота протягом тривалого часу створює та впроваджує інтелектуальні транспортні системи та їх елементи, використовуючи принципи модернізації та реінжинірингу. Розробка інформаційних транспортних систем – це потенційно ефективний конкурентоспроможний інноваційний бізнес і стимул створення нового високотехнологічного сектора промисловості, що є важливим антикризовим фактором.

3. Запропоновано шляхи удосконалення бортової системи моніторингу технічного стану авіаційних двигунів вертольотів із використанням нейромережевих технологій. Розроблено алгоритм побудови нейронної мережі, особливістю якого є використання вхідної одновимірної та багатовимірної фільтрації Калмана задля підвищення модельних значень координат виходу лінійної адаптивної бортової нейромережевої моделі авіаційного двигуна вертольоту.

4. Встановлено, що стратегічні перспективи сучасних авіакомпаній мають бути орієнтованими на цифрові рішення та гнучкі принципи управління. Цифрова трансформація передбачає зміни в організації, моделі роботи, культурі компанії та підвищення кваліфікації працівників. Інвестиції у цифрові технології авіакомпаній потенційно можуть підвищити рівень задоволеності клієнтів, загальну ефективність, гнучкість і безпеку авіакомпанії.

5. Наведені аналітичні засоби, застосування яких дозволило суттєво підвищити ефективність і поліпшити показники якості функціонування системи підтримки прийняття управлінських рішень за допомогою розподілених інформаційно-аналітичних систем, на основі застосування сучасних комп'ютерних технологій, теорії штучного інтелекту, методів нечіткої логіки, математичного апарату реляційних баз даних, методів системного аналізу, дискретної математики, теорії формальних та алгебраїчних систем.

6. Досліджено особливості комп'ютерного планування ринохірургічних втручань на основі інформаційної моделі представлення даних. Представлена модель характеризує дискретну просторову операційну область і являє собою структуру ідентифікаційних графічних G-буферів, що включає узагальнену воксельну модель, яка містить інформацію про приналежність виділених елементів об'єму до певних анатомічних структур, і додаткові характеристики (ідентифікатори об'єктів).

Наукове видання

Аврунін Олег Григорович
Владов Сергій Ігорович
Петченко Марина Валентинівна
Семенець Валерій Васильович
Татаринів Вадим Вадимович
Тельнова Ганна Володимирівна
Філатов Валентин Олександрович
Шмельов Юрій Миколайович
Шушляпіна Наталія Олегівна

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Монографія

Підписано до друку 10/11/2021
60×84 ¹/₁₆. Ум. друк. арк. 18,6.
Тираж 300 пр. Зам. № 84/21.
Папір офсетний. Гарнітура Times.
Електрографічний друк.

Видавець ПП «Видавництво «НОВАБУК»
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК №7598 від 10.02.2022р.
www.novabook.com.ua
097 555 10 72

Віддруковано ПП Щербатих О.В.
вул. Софіївська, 36-Б, м. Кременчук, 39600
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК №2129 від 17.03.2005р.