

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Дніпропетровський національний університет залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна

І.В. ЖУКОВИЦЬКИЙ
В.В. СКАЛОЗУБ
А.Б. УСТЕНКО

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ЗАСОБИ УПРАВЛІННЯ ПАРКАМИ
ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

монографія

Дніпро, 2018

УДК 656.212.5:581.3

ББК 39.275

XXX

ISBN xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

Видавництво xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

Дніпро, 2018

*Рекомендоване до друку рішенням Вченої ради Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (протокол № X від
05.10.2018 року)*

Рецензенти

*Д-р техн. наук, проф. Бутько Тетяна Василівна, завідувач кафедри управління
експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту,
м. Харків, Україна*

*Д-р техн. наук, проф. Міхальов Олександр Ілліч, завідувач кафедри інформаційних технологій і
систем Національної металургійної академії, м. Дніпро, Україна*

І.В. Жуковицький, В.В. Скалозуб, А.Б. Устенко

Жхх Інтелектуальні засоби управління парками технічних систем залізничного
транспорту: монографія [текст] / Дніпро: Вид-во Маковецький, 2018. – ххх с. –
ISBN xxxxxxxxxxxxxxxx

УДК 656.212.5:581.3

ББК 39.275

Монографія присвячена питанням розробки інтелектуальних засобів управління парками технічних систем залізничного транспорту. Зокрема описані механізми інтелектуального управління локомотивним парком, парком електричних двигунів стрілочних переводів. Запропоновано використання спеціалізованих аналітичних серверів в складі АСУ для реалізації інтелектуальних механізмів управління. Показано можливість використання онтологічних систем для підтримки процесів управління парками технічних систем.

Книга призначена для вчених, інженерів, аспірантів, студентів вищих навчальних закладів залізничного транспорту

Дніпропетровський національний
університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, 2018
Жуковицький І.В., Скалозуб В.В.,
Устенко А.Б., 2018
Видавництво Маковецький
Дніпро, 2018

ISBN xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	9
ГЛАВА 1. КОНЦЕПЦІЇ РОЗВИТКУ СИСТЕМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ПАРКАМИ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ.....	13
1.1. Інтелектуальні завдання управління парками технічних систем.....	13
1.2. Онтологічна підтримка процесів управління парками технічних систем.....	20
1.2.1. Актуальні проблеми розвитку онтологій	20
1.2.2. Проблеми розвитку та онтологічна підтримка автоматизованих систем керування вантажними перевезеннями УЗ	23
1.2.3. Онтологічна підтримка АСУ залізничного транспорту на основі конструктивно-продукційної моделі	25
ГЛАВА 2. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕХАНІЗМИ УПРАВЛІННЯ ПАРКАМИ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ЗАСОБАМИ АНАЛІТИЧНИХ СЕРВЕРІВ.....	31
2.1. Концепція аналітичних серверів в складі АСК ВП УЗ-Є	31
2.1.1. Призначення аналітичних серверів.....	31
2.1.2. Принципи створення аналітичних серверів	33
2.1.3. Загальна схема функціонування аналітичних серверів в складі АСК ВП УЗ-Є	36
2.1.4. Напрямки та етапи створення аналітичних серверів	40
2.2. Методика реалізації базових функцій аналітичних серверів	41
2.2.1. Методика аналітичної обробки даних в аналітичних серверах ...	42
2.2.2. Методика прогнозування динаміки процесів використання парків технічних систем.....	43
2.2.3. Етапність створення підсистеми прогнозування.....	50
2.2.4. Методика інформаційної підтримки рішень з оптимізації управління парками технічних систем	55

2.2.5. Методика оцінки очікуваних наслідків управління парками технічних систем.....	60
2.2.6. Методика створення та впровадження імітаційних моделей в аналітичних серверах.....	66
2.2.7. Методика використання імітаційних моделей в аналітичних серверах.....	68
ГЛАВА 3. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЄЮ ЛОКОМОТИВНИХ ПАРКІВ	72
3.1. Стан та напрямки удосконалення оперативного управління експлуатацією локомотивів.....	72
3.1.1. Завдання інтелектуальних методів оперативного управління експлуатацією локомотивних парків	72
3.1.2. Стадії процесу оперативного управління.....	73
3.1.3. Загальний огляд попередніх досліджень.....	75
3.1.4. Вибір напрямків подальших досліджень.....	80
3.2. Розширена постановка задачі про призначення з урахуванням ризику простоїв локомотивів та составів	82
3.3. Оцінка ризику взаємного очікування локомотива та составу	89
3.3.1. Постановка задачі та оцінка ризику в загальному випадку	89
3.3.2. Розрахунок ризику для випадку рівномірних розподілень	97
3.4. Метод оптимізації призначень локомотивів	108
3.4.1. Характеристика методу	108
3.4.2. Алгоритм динамічної інтерактивної оптимізації призначень....	111
3.5. Оптимізація оперативного управління експлуатацією локомотивів засобами аналітичних серверів.....	113
3.5.1. Вимоги до засобів підтримки оптимізації управління.....	113
3.5.2. Технічна реалізація засобів автоматизації оперативного управління експлуатацією локомотивів	116
3.5.3. Реалізація функцій серверу ОУЕЛ.....	119
ГЛАВА 4. УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПАРКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ	125
4.1. Технології автоматизованої експлуатації парку	

електродвигунів.....	125
4.2. Завдання оптимального планування процесів експлуатації парку електродвигунів.....	130
4.3. Автоматизована технологія діагностування і управління експлуатацією парку електродвигунів.....	131
4.3.1. Загальна структура системи дистанційного моніторингу парку електродвигунів.....	131
4.3.2. Моделі нейронних мереж у завданнях управління парком електродвигунів.....	134
4.3.3. Структура моделі автоматизованого управління парком електродвигунів.....	141
4.4. Формування індивідуальних інтелектуальних моделей процесів експлуатації парку електродвигунів за параметрами поточного стану	145
4.4.1. Призначення та основні властивості індивідуальних інтелектуальних моделей процесів експлуатації електродвигунів.....	145
4.4.2. Структура індивідуальних моделей для процесів моніторингу, діагностування та ремонтів електродвигунів.....	149
4.5. Багатокритеріальна ієрархічна модель із визначення пріоритетів обслуговування електродвигунів з урахуванням неоднорідності об'єктів інфраструктури	151
4.6. Формування баз знань нечітких експертних систем для прогнозування параметрів електродвигунів у процесах експлуатації.....	154
4.7. Дослідження параметрів стохастичних часових рядів технологіко-економічних та експлуатаційних процесів залізничного транспорту .	160
4.8. Планування процесів експлуатації парку електродвигунів на основі процедур класифікації даних індивідуальних і групових моделей	163
4.9. Нечітка модель планування розподілу електродвигунів між ремонтними базами з урахуванням спеціалізації та кооперації.....	168
ВИСНОВКИ.....	173
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	177

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

- АЕПЕД – система автоматизованої експлуатації парку електродвигунів залізничних стрілочних переводів
- АПЗ – апаратно-програмні засоби
- АС – аналітичний сервер
- АСЕД – автоматизована система дистанційного діагностування парків електродвигунів
- АСУ-Т – автоматизована система управління парку локомотивів
- АЦП – аналого-цифровий перетворювач
- БДМ – блок дистанційного моніторингу
- БКМ – блок корегування індивідуальних моделей та моделей парку електродвигунів
- БНСП – база нечітко-статистичних правил
- ГЕД – група електродвигунів, що обслуговуються
- ГТС – група технічних систем
- ЕД – електродвигун
- МП – модель даних про парки
- ЕД СП – електричний двигун стрілочного переводу
- ЕС – експертна система.
- ЕЦ – електрична централізація
- ИДГ_{*k*} – модель обслуговування *k*-ї групи електродвигуна при експлуатації
- ІМ – індивідуальна імітаційна модель
- ІІТ – інтелектуальна інформаційна технологія
- ІМ – імітаційна модель
- ІнМ – індивідуальна модель
- ІнМД – індивідуальна модель процесу діагностування
- ІнМР – індивідуальна модель процесу ремонтів
- КЗО – коротке замикання обмотки
- КЗПК – коротке замикання пластин колектора

КПК – круговий вогонь по колектору.

КПМ – конструктивно-продукційне моделювання

МАІ – метод аналітичних ієрархій

МКК – карта Кохонена

НМП – нечітке математичне програмування

НСУ – нечітко-статистичне управління НСУ

ОК – обслуговуюча компанія

ОКДБ – підсистема оперативного контролю стану та дислокації локомотивних бригад

ОКДЛ – підсистема оперативного контролю стану та дислокації локомотивів

ОКПМ – онтологія конструктивно-продукційного моделювання .

ОКС – онтологічно-конструктивна структура

ОнС – онтологічна система

ОСЯ – обрив секції якоря

ОУЕЛ – оперативне управління експлуатацією локомотивів

ПЕД – парк електродвигунів

ПЗ – програмні засоби

ПКР – процедура класифікації часових рядів

ПО – предметна область

ППР – планово-попереджувальні роботи

ПТС – парк технічних систем ПТС

СП – стрілочний перевід

ТРС – тяговий рухомий склад

ТС – технічна система

УВП – управління процесами вантажних перевезень

УЗ – Українські залізниці

ЧР – часовий ряд

ШПФ – швидке перетворення Фур'є

ARIMA – autoregressive integrated moving average (інтегрована модель авторегресії - ковзного середнього)

ARMA – autoregressive moving average (модель авторегресії - ковзного середнього)

AS – Application Server (сервер застосувань)

DBS – DataBase Server (сервер баз даних)

OLAP – Online Analyzing Processing (інтерактивна аналітична обробка)

SC – Server-Client (сервер-клиент)

SOM – Self-Organizing Maps (карти, що самоорганізуються)

WS – Web-Server (Web-сервер)

ВСТУП

Характерними рисами та вимогами до сучасних залізничних перевезень являються підвищення їх ефективності, безпеки руху поїздів і процесів експлуатації технічних систем, збільшення пропускної спроможності перегонів і станцій, а також зниження впливу транспорту на навколишнє середовище. Важливим фактором забезпечення стійкості процесів залізничних перевезень являється підвищення надійності технічних засобів залізничної інфраструктури. Підвищення ефективності процесів експлуатації, зменшення експлуатаційних витрат не можливе без розвитку комунікаційних та інформаційних технологій, формування комплексних систем автоматизації та телематики у сфері експлуатації парків технічних систем (ТС). Окремими прикладами великих парків залізничних ТС, які потребують удосконалення процедур експлуатації та обслуговування, являються вагонні і локомотивні парки, парки електродвигунів (ЕД) залізничних стрілочних переводів (СП) тощо. Завдання щодо автоматизованого управління процесами експлуатації та обслуговування таких парків ТС являються ключовими для залізничного транспорту (ЗТ). Ефективне або раціональне вирішення таких завдань становить значну частину багатьох сучасних залізничних технологій.

В подальшому ми будемо розглядати завдання щодо удосконалення автоматизованого, в тому числі телематичного управління парками ТС залізниць, в більшості використовуючи при цьому результати досліджень авторів. Відзначимо, що на сьогодні ще однозначно не визначені саме поняття парку ТС, а також сукупність базових завдань із автоматизованого управління таким складним утворенням, як окремим об'єктом керування. В наступних розділах виконано певний аналіз існуючого стану проблем управління парками залізничних ТС, приводяться головні завдання із формування сучасних інтелектуальних інформаційних технологій автоматизованого управління парками ТС. Спрямованість на створення інтелектуальних систем управління відповідає сучасним сві-

товим тенденціям розвитку техніки та технологій, у тому числі формуванню інтелектуальних транспортних систем [17, 19, 34, 87, 95].

Зупинимося на змістовній характеристиці проблематики та завдань автоматизованого управління експлуатацією парку ТС. Вважаємо що розглядається і автоматизовано контролюється певна множина складних техніко-технологічних об'єктів однакового призначення, парк технічних систем, а також процеси їх експлуатації. У відповідності з технологією функціонування і методикою обслуговування ТС парку можуть бути окремими, або розділені на групи, об'єкти яких при плануванні розглядаються спільно. Об'єкти парку характеризуються наборами властивостей, значення яких вказують на їх деякий «поточний» стан, що відбиває хід і можливості подальшої експлуатації кожної з ТС. Технічний стан об'єкта на даному етапі експлуатації визначається по «сигналам», що знімається з нього встановленим методом. Дані про параметри поточного стану кожної ТС, а також можливо і зазначеної групи ТС, відповідним чином обробляються, аналізуються і узагальнюються, накопичуються в автоматизованій системі. На їх основі формуються спеціалізовані індивідуальні інформаційні моделі процесів функціонування, які характеризують ТС на всіх етапах життєвого циклу.

Для забезпечення функціонування вважаються відомими ресурси (технічні, матеріальні, трудові та ін.), необхідні або виділені для експлуатації парку об'єктів. Ставиться завдання щодо забезпечення реалізації та надійності сукупності залізничних транспортних технологій парку ТС. При цьому також потрібно забезпечити реалізацію завдання з підвищення ефективності процесів експлуатації парку об'єктів. Реалізація цього завдання виконується на основі формування інтелектуальної автоматизованої технології і системи оптимального управління, яке формується за параметрами поточного та прогнозованого стану. При цьому потрібно «безперервно або за регламентом» визначати поточний технічний стан компонентів парку ТС, реалізуючи технологічні та інтелектуальні процедури моніторингу та діагностування параметрів процесів функціонування. Як один із результатів моніторингу є оцінки параметрів поточного стану

ТС, які фіксуються в індивідуальних моделях процесів експлуатації, наприклад, у вигляді часових рядів (ЧР) [34, 91, 94]. Особливість таких рядів у наближених і певним чином невизначених значень контрольованих параметрів, а також у нерівномірності інтервалів між спостереженнями, що суттєво ускладнює процедури аналізу і прогнозування очікуваних станів ТС.

При виявленні несправних станів об'єкта парку ТС необхідно визначити вид несправності і отримати оцінку достовірності. На основі даних моніторингу об'єктів і попередніх даних про процеси експлуатації, представлених в детермінованих термінах або з урахуванням характеристик невизначеності технологічних або експлуатаційних процесів, потрібно спрогнозувати можливі зміни технічного стану елементів системи. За допомогою процедур управління експлуатацією парку необхідно також встановити раціональні черговості діагностики та обслуговування об'єктів парку ТС з урахуванням вимог безпеки транспортної системи та обмежених ресурсів процесів експлуатації. Для визначення черговості обслуговування об'єктів парку ТС, як частини планування процесів обслуговування та експлуатації, застосовуються спеціальні економіко-математичні моделі і методи оптимального планування, розглянуті нижче. Завдання експлуатації парків також полягають у визначенні послідовності обслуговування (діагностування, оглядів, ремонтів ін.) ТС або їх елементів, а також груп ТС, з урахуванням наближених оцінок їх поточного і прогнозованого стану, які забезпечують мінімальні загальні експлуатаційні витрати. До цих завдань можна додати і планування розподілу різноманітних робіт із обслуговування парків ТС між конкуруючими виконавцями, з метою забезпечення зменшення загальних експлуатаційних витрат.

Особливість процедур інтелектуального управління парками полягає в можливості формування та оптимальної реалізації завдань використання параметрів поточного та прогнозованого стану ТС для планування процесів експлуатації, обслуговування, ремонту ін. При цьому формування інтелектуальних інформаційних моделей (ІІМ) процесів функціонування кожної ТС, які охоплюють всі категорії подій на різних етапах життєвого циклу, визначається у якості

обов'язкової загальної складової процедур управління парками ТС. Наявність ІІМ надає можливості переходу від нормативних методів експлуатації та обслуговування множин ТС, до керування на основі фактичних даних. Для прикладу зазначимо сучасну технологію організації управління ремонтами вантажних вагонів «по пробігу», реалізовану засобами автоматизованої системи вантажних перевезень АСК ВП УЗ-Є [95]. При беззаперечній важливості та актуальності завдань контролю пробігу, інформаційна база реалізації завдань є обмеженою, не враховуються багато складових, які суттєво впливають на технічний стан вагонів. Серед них – загальна вантажна робота вагона, а також умови її виконання, полігони курсування тощо. Такі дані надають можливість іншій організації процесів ремонтів парку вантажних вагонів, в тому числі інтелектуальними засобами.

Важливим аспектом формування інтелектуальних систем керування процесами залізничного транспорту являється багаторівневість таких завдань підтримки процедур управління парками. Такі завдання охоплюють широке коло та різні категорії користувачів, у розпорядженні яких знаходиться неоднакова інформація з різним ступенем достовірності тощо. Через це та інші обставини необхідно розвивати загальносистемні засоби інтелектуалізації АСУ УЗ, до яких належать спеціалізовані інформаційні системи – аналітичні сервери, засоби онтологічного забезпечення ІТ залізниць України. Проблематика створення та запровадження аналітичних серверів та забезпечення засад онтологічної підтримки АСУ залізниць також представлена у матеріалах нижче.

Сукупність зазначених вище завдань та методів і технологій їх реалізації становлять зміст сучасного етапу розвитку інтелектуальних систем управління парками залізничних технічних систем, вирішенню яких присвячене це дослідження.

ГЛАВА 1

КОНЦЕПЦІЇ РОЗВИТКУ СИСТЕМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ПАРКАМИ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

1.1. Інтелектуальні завдання управління парками технічних систем

Наведена вище змістовна характеристика загальної проблематики та завдань із формування засад автоматизованого інтелектуального управління експлуатацією парків технічних систем (ПТС) залізничного транспорту дозволяє визначити базову множину формалізованих задач і технологічних та інформаційних завдань, реалізація яких забезпечить створення і функціонування інтелектуальних систем управління ПТС. В подальшому будемо представляти загальні процедури управління ПТС певними постановками формалізованих завдань і відповідними математичними моделями аналізу, діагностування, оптимального планування, прогнозування тощо.

Розглянемо критерії та основні завдання автоматизованої експлуатації ПТС на основі параметрів поточних та прогнозованих станів. У роботах [34, 81, 95] відзначаються основні властивості об'єкту управління (ПТС) і викликані ними вимоги до моделей і методів реалізації відповідних завдань керування технологічно-економічними процесами. В них показано, що реалізація багаторівневих моделей автоматизованого інтелектуального управління процесами експлуатації парків потребує розробки системи математичних та інформаційних моделей аналізу, прогнозування та планування технічних і технологічних процесів, урахування умов невизначеності щодо станів систем та елементів, умов та даних, а також цілей функціонування засобів автоматизації. Невизначеність цілей, багатокритеріальність або векторність задачі оптимального управління, як відомо, приводить до необхідності застосування процедур системного аналізу [79, 82, 90] для формування адекватної вимогам «моделі цілі». У залежності від доступної інформації, а також процедур її отримання, мають бути сформовані різноманітні моделі реалізації векторної цілі. При визначенні ефективних рі-

шень відповідно управлінь експлуатацією парків ТС в більшості комплексних завдань використовуються наступні часткові показники: E – експлуатаційні витрати, P – рівень надійності системи управління експлуатацією, $ДВ$ – додаткові витрати при відмовах у системі. В [81, 85, 90] розроблено систему математичних моделей багатокритеріального планування для різноманітних умов невідзначеності. Зокрема запропоновано застосування аксіоматичного методу векторної оптимізації для зазначеної системи часткових показників оптимальності керувань, що потребує дослідження властивостей сукупності складових (E , P , $ДВ$) [90]. Для реалізації управління процесами з урахуванням можливостей отримання інформації про важливість часткових показників та інформаційні властивості завдань, розроблені наступні моделі та методи: багатокритеріальна модель управління процесами експлуатації парків технічних систем при залежних ресурсах, двоетапна модель управління процесами експлуатації з урахуванням умов ризику, нечіткий двоетапний метод управління процесами експлуатації парків, який враховує наявні дані про процеси технічної експлуатації парків ТС.

При розробці засобів автоматизованої експлуатації парків ТС з урахуванням поточного стану та параметрів інфраструктури в першу чергу необхідно виконати завдання щодо формування індивідуальних імітаційних моделей (ІМ) процесів їх експлуатації. Для цього необхідно встановити можливі категорії, призначення та основні властивості ІМ, а також визначити структуру індивідуальних моделей для процесів моніторингу, діагностування та ремонтів відповідно. Необхідно урахувати різні можливі форми моделювання процесів експлуатації ПТС, а також об'єми необхідних для цього даних. При малій кількості спостережень відмов доцільно виконувати оцінки надійності технічних систем на основі моделі Вейбула, інтелектуальних методів експертних систем тощо. Наприклад, одним із сучасних методів побудови ІМ для процесів діагностування дефектів електричних двигунів залізничних стрілочних переводів (СП) являється їх формування на основі моделювання відеозображень спектру частот їх струмів з використанням нейронних мереж [79, 101].

Для автоматизованого управління процесами експлуатації парків ТС на основі даних індивідуальних моделей і виділених ресурсів пропонується побудувати процедури прогнозування часових, експлуатаційних параметрів ПТС з використанням методів екстраполяції та кластеризації [81, 88].

Структура управління парками ТС, приведена у роботах [85], передбачає розробку моделей і методів для автоматизації розрахунку черговості діагностування, обслуговування та ремонту парку електричних двигунів. Для цього була розроблена багатокритеріальна ієрархічна модель, яка ураховує різноманітну форму даних щодо визначення пріоритетів обслуговування ЕД парків з урахуванням неоднорідності об'єктів інфраструктури. Також були розглянуті можливості визначення пріоритетів обслуговування ТС на основі методів кластеризації [85, 88].

Складність і різноманітність задач діагностування ТС, разом із накопиченням досить значного експериментального матеріалу стосовно несправностей та ін., дають можливості для організації управління процесами експлуатації ТС на основі методів експертних систем [77]. Для реалізації такого підходу до створення інтелектуальних систем автоматизації було виконано формування баз знань різних типів, що відповідають різним формам представлення факторів невизначеності. У [81, 88] були розроблені нечіткі експертні системи для прогнозування параметрів ЕД у процесах експлуатації. Також для підвищення ефективності процесів експлуатації парку ЕД та зменшення експлуатаційних витрат була побудована нечітка модель планування розподілу електричних двигунів парку між ремонтними базами з урахуванням спеціалізації виконавців робіт.

Ефективна реалізація багаторівневих моделей автоматизованого управління процесами експлуатації парків ТС, потребує також створення загальносистемних та універсальних інтелектуальних процедур аналізу та прогнозування параметрів технологічних процесів. Для цього у роботі [94] досліджені питання щодо застосування процедури агрегування для аналізу та оперативного прогнозування параметрів недетермінованих технологічних процесів залізнич-

ного транспорту, сформовано задачі кооперативного управління для умов процесів вантажних залізничних перевезень, розвинуто методи інтелектуальних транспортних систем (ІТС) [56, 87], які застосовуються у завданнях управління експлуатацією ПТС.

В табл. 1.1 систематизовано головні на сьогодні критерії створення та основні завдання інтелектуальних АСУ, які забезпечать експлуатацію парків ТС. При цьому визначається сутність завдання, яке необхідно вирішити для забезпечення ефективної експлуатації ПТС, характеризується зміст проблеми що існує, указується необхідний для реалізації додатковий ресурс або засоби, наводиться очікуваний результат вирішення завдання управління експлуатацією парку ТС. Для формування інтелектуальних систем автоматизованого управління ПТС головними являються завдання 1 – 5, разом з цим завдання 6 – 10 забезпечують можливості реалізацію базових завдань.

В цілому автоматизоване оптимальне планування та управління експлуатацією парків ТС складається з реалізації послідовності наступних завдань [88, 91, 101]:

1. Утворення груп технічних систем (ГТС) парку, формування індивідуальних моделей процесів експлуатації ТС, ІМ для ГТС, загальної технологіко-економічної моделі експлуатації парку.
2. Вимірювання параметрів поточного стану, моніторинг, аналіз оцінок та діагностування поточних станів ТС.
3. Оцінка параметрів і станів інфраструктури, класифікація ІМ окремих ТС, а також ГТС. прогнозування характеристик станів об'єктів парку.
4. Формування оптимального плану, як вибору послідовності обслуговування груп ГТС або окремих ТС,
5. Реалізація управління етапу виконання та облік в інформаційних моделях результатів робіт з експлуатації ПТС.
6. Корекція індивідуальних моделей ТС, ГТС, а також парку в цілому.

Основні завдання автоматизованої експлуатації парків залізничних ТС

№	Найменування задачі	Проблема	Ресурс реалізації	Результат
1	2	3	4	5
1	Багатокритеріальне управління експлуатацією парку ТС	Складність об'єкта, Компромісний вибір	Властивості показників ефективності	Єдиний ефективний розв'язок
2	Прогнозне управління: упорядкування обслуговування ТС на основі оцінок їх поточного і прогнозного стану	Неоднорідність парку та умов експлуатації, умови невідзначеності, нерівномірний інтервал між даних	Інтелектуальні індивідуальні моделі ТС, відбір та кластеризація даних «подібних» систем	Визначений раціональний порядок обслуговування ТС парку
3	Створення системи аналітичних серверів для реалізації уніфікованих процедур управління на різних рівнях керування	Класифікація та формалізація базового комплексу завдань управління ПТС для різних рівнів АСУ та персоналу	Типізація та уніфікація моделей і методів завдань управління, урахування об'ємів та типів даних	Забезпечення аналітичної підтримки загальносистемних та спеціалізованих завдань управління на різних рівнях АСУ

1	2	3	4	5
4	Створення моделей та засобів онтологічного забезпечення процесів автоматизованого управління ПТС	Невизначеність системи понять сфери інтелектуального управління ПТС; розрізненість моделей і методів автоматизованого управління ПТС; забезпечення ефективного супроводу та розвитку АСУ	Класифікатори баз даних АСУ із керування технологіями функціонування ПТС; дослідження сфери типізації завдань, моделей та методів керування ПТС.	Створення моделей, методів та засобів онтологічного забезпечення процесів керування ПТС, в тому числі з урахуванням розвитку відповідних автоматизованих технологій
5	Скорочення експлуатаційних витрат для парку ТС за рахунок спеціалізації і кооперації виконавців робіт	Різна ефективність експлуатації та обслуговування ТС парку	Урахування спеціалізації і кооперації при плануванні робіт	Скорочення експлуатаційних витрат
6	Прогнозування характеристик процесів експлуатації окремих ТС та груп ТС парку	Обмеженість, невизначеність даних	Відбір «подібних» одиниць ТС парку, адаптація, екстраполяція	Оцінки очікуваних характеристик одиниць ТС парку, корекція планів

1	2	3	4	5
7	Урахування неоднорідності умов експлуатації ТС, їх значимості для мережі тощо.	Оцінка важливості окремих одиниць ТС парку для мережі	Кластеризація окремих одиниць ТС парку, облік вектора властивостей мережі	Встановлено пріоритет кожної одиниці ТС парку
8	Урахування невизначеності характеристик станів інфраструктури перевезень, відмінність типів даних аналізу	Множинність типів (ймовірність, нечіткість ін.)	Комбіновані методи оцінки, експертизи	Повнота моделей, підвищення точності результатів
9	Формування та адаптація інтелектуальних індивідуальних моделей процесів експлуатації ТС та ГТС	Облік процесів, завдання управління парком, розвиток і адаптація	Структури даних, процеси обробки, вибір виду представлення	Забезпечення завдань управління експлуатацією ПТС
10	Моделі управління експлуатацією ПТС	Множинність складових	Багатокритеріальність. Нечіткі, багатетапні, нейромережеві, експертні системи	Вибір або упорядкування величин параметрів управління

Для реалізації зазначеної процедури оптимального планування та керування парком ТС потрібно ввести нову категорію моделей об'єктів парку - ГТС, моделі групових властивостей ТС. Формування та облік групових властивостей об'єктів парку може бути виконаний за допомогою спеціалізованих процедур [91, 94].

При заданих множинах ГТС, що одночасно включаються в план обслуговування, виникає завдання по оцінці характеристик ГТС, представлених часовими рядами (ЧР), на основі властивостей окремих ТС. З урахуванням вимог забезпечення надійності транспортних систем параметри ГТС визначаються на основі функцій $\max/\min$. Оскільки на різних етапах обслуговування реалізація функцій розрахунку групових властивостей ГТС може бути на різних одиницях ТС, то поведінка ЧР групових властивостей може мати складний недетермінований характер [34]. Часові ряди, які представляють зміни групових властивостей, можуть бути досить складними, в тому числі антиперсистентними, як і послідовності значень рівнів процесів, представлених ЧР окремих ТС. Автоматизоване оптимальне планування процесів експлуатації ПТС потребує дослідження та прогнозування характеристик недетермінованих ЧР, які формуються в моделях ІМ парку ТС.

До сучасних завдань формування засад інтелектуальних систем управління на базі засобів діючих АСУ залізничного транспорту України в першу чергу можна віднести завдання зі створення систем аналітичних серверів, які представлені в главі 2.

1.2. Онтологічна підтримка процесів управління парками технічних систем

1.2.1. Актуальні проблеми розвитку онтологій

В даний час розвиток різноманітних додатків інтелектуальних інформаційних технологій (ІТ) характеризується все зростаючим застосуванням онтологій і онтологічних систем (ОнС) [16, 34, 38, 45]. Онтологічні технології вико-

ристовують в складних для формалізації, слабоструктурованих областях діяльності або бізнесу, при обробці, класифікації та інтерпретації наростаючих обсягів даних і ін. [45, 56, 77]. Онтології в явному вигляді широко використовуються як джерела даних для багатьох комп'ютерних систем, таких як аналіз текстів, витягнення знань із наборів даних, інформаційного пошуку, проектування систем тощо. Перевага онтології полягає в забезпеченні ефективної інтелектуальної обробки складної і різноманітної інформації, а також у можливості багаторазово використовуватися в новому оточенні [34, 79].

У розділі розглянуто питання вдосконалення процесів експлуатації автоматизованих систем управління (АСУ) залізничного транспорту України за рахунок створення спеціалізованого прикладного онтологічного забезпечення, в нашому випадку на основі моделі конструктивно-продукційного моделювання (КПМ) [75]. Зазначимо, що автоматизована система керування вантажними перевезеннями Українських залізниць єдина (АСК ВП УЗ-Є) є однією з найбільш потужних і сучасних АСУ залізничного транспорту ПАТ «Українська залізниця» (далі ПАТ УЗ). Вона реалізує функції інформаційної та керуючої підтримки численних технологій і процесів залізничної галузі [16]. Принципи побудови, склад і структуру АСК ВП УЗ-Є, а також система її інформаційних і технологічних моделей, є фундаментом для створення комплексних інтелектуальних систем залізничного транспорту України.

Під онтологією розуміється система понять, представлена набором сутностей, пов'язаних різними відношеннями, які характеризують певну область знань і використовуються для формальної специфікації. Суттєвою складовою онтології є набір аксіом, що забезпечують подання додаткових знань, які не охоплюють ієрархії понять і ін. [34, 38, 56]. В даний час актуальними є питання застосування предметних онтологій конкретних галузей знань для підтримки складних і наукоємних інтелектуальних інформаційних технологій (ІІТ): оцінки концептуальних моделей даних [77], побудови онтологій предметної області на основі моделі нечіткого виведення, також вирішена задача використання неточних знань, отриманих з минулих дослідів тощо [79]. У більшості робіт пере-

важаючим напрямом досліджень є створення, удосконалення і застосування прикладних онтологій в різних сферах ІТ.

В [75] виконані дослідження із розробки методології щодо онтологічного забезпечення процесів КІМ для структурно складних інформаційних технологій. В цілому процеси конструювання досить поширені, виникають на різних етапах розробки інформаційних технологій (ІТ), мають достатньо високу подібність. Серед них – формування архітектур програмних систем, концептуальне моделювання предметної області ОнС, розробка структур баз даних [77] тощо. Численність форм і поширеність, цільова подібність, складність і фактори невідзначеності завдань конструювання в сфері ІТ роблять актуальними дослідження, спрямовані на інтелектуальну і технологічну підтримку процесів конструювання. При цьому онтологічне забезпечення (ontological support) конструювання в багатьох додатках стає сполучною ланкою різноманітних ІТ.

Прикладні ОнС грають кілька ролей в задачах представлення знань, представляють таксономічні та інші властивості при концептуалізації, а також можуть реалізувати функції спеціалізованих баз знань. В останньому варіанті онтологічна підтримка ІТ поширюється і на формування моделей понять (окремих концептів, зв'язків, засобів створення екземплярів тощо), на використання спеціалізованих процедур виведення. Такі ознаки мають багато прикладних онтологій для математично- і логічно-складних додатків ІТ (нечітке управління, багатокритеріальний аналіз ін.). Зазначені особливості прикладних онтологій ІТ були використані при формуванні системи моделей онтології КІМ (ОКІМ). В [34] констатується, що «досі не існує загальноприйнятої методології створення онтологій і залишається відкритим питання появи конструктивної теорії розробки формальних онтологій».

При створенні інтелектуальних засобів ОКІМ врахована потенційна складність і невизначеність прикладних областей застосування методології КІМ. У зв'язку з цим в процедурах онтології головна увага була приділена універсальності моделі понять. Загальною метою засобів ОКІМ є забезпечення формування концептів для структурно складних областей моделювання.

1.2.2. Проблеми розвитку та онтологічна підтримка автоматизованих систем керування вантажними перевезеннями УЗ

В інформаційні структури АСК ВП УЗ-Є можуть бути «вписані» практично всі технологічні процеси роботи вантажного залізничного транспорту, а також інші технології експлуатації об'єктів УЗ, включаючи завдання створення інтелектуальних систем транспорту [16]. Система автоматизує завдання, які раніше вирішувалися різними окремими системами на різноманітних технологічних і технічних базах. При цьому реалізується широке коло питань інформатизації перевізного процесу, починаючи від місячного планування, оформлення перевізних документів, перевезення вантажів до аналізу результатів перевезень. В системі АСК ВП УЗ-Є в режимі «технологічного реального часу» виконуються процедури подієвого моделювання процесів і технологій роботи транспорту, експлуатації, економіки, а також їх інформаційного забезпечення.

Набір інформаційно-аналітичних моделей об'єктів і процесів, пов'язаних з виконанням залізничних перевезень, включає необхідні моделі подій для всіх складових транспортного процесу, такі як локомотивна модель, контейнерна, вагонна і поїзна моделі, моделі відправок та маршрутів слідування, моделі роботи локомотивних бригад і прикордонних станцій.

Загальна структура системи інформаційного забезпечення процесів прийняття рішень і управління представлена на рис. 1.1. Ієрархія організаційної структури забезпечує ефективність процедур аналізу та управління на різних технологічних рівнях ПАТ УЗ.

Для реалізації зазначеної на рис. 1.1 моделі інформаційного забезпечення розроблено технологічну і технічну структуру систем автоматизації (рис. 1.2). На рисунку вказані завдання що вирішуються на різних рівнях, зв'язки між ними, окремі технології інформаційної підтримки. В системі АСК ВП УЗ-Є реалізований весь спектр завдань управління перевезеннями: оперативне управління перевізним процесом, управління вантажними перевезеннями, управління пасажирськими перевезеннями, управління ремонтами і технічним обслуговуванням рухомого складу, аналіз виробничо-фінансової діяльності тощо.



Рис. 1.1. Основна структура інформаційного забезпечення процесів прийняття рішень в АСК ВП УЗ-Є



Рис. 1.2. Схема технологій інформаційної підтримки процес прийняття рішень

Надзвичайно висока масштабність, численність і висока складність технологій і систем залізничного транспорту, вимоги щодо їх безперервного вдосконалення і розвитку, тенденції щодо переходу до інтелектуальних технологій управління тощо роблять актуальними питання ефективного супроводу АСК ВП УЗ-Є, застосування для цього моделей і методів управління на основі використання знань. Одним з основних напрямків досліджень і розробок в цій галузі є прикладні онтологічні системи.

2.2.2. Онтологічна підтримка АСУ залізничного транспорту на основі конструктивно-продукційної моделі

На даному етапі формування онтологічного забезпечення АСУ Українських залізниць (ОАСУ УЗ) необхідно дослідити можливість використання певного базового засобу розробки, зокрема, системи методів конструктивно-продукційного моделювання (КПМ). Методологія та засоби онтологічної підтримки процесів КПМ представлені в статтях [75, 81, 82]. В них вирішені нові завдання із створення прикладної онтології КПМ (ОКПМ). Серед завдань відзначимо наступні:

- виявлення і вивчення властивостей структур понять, концептів і основних системоутворюючих відношень при КПМ;
- формулювання вимог до властивостей методології КПМ, а також до спеціалізованих моделей і методів прикладної ОКПМ;
- розробка єдиної, універсальної, такої що розвивається та налаштовується на предметні області інформатизації моделі онтологічної конструктивної структури (ОКС);
- розробка моделі та процедур, які забезпечують в рамках КПМ можливість створення відношень, структура яких наперед не відома, в тому числі рекурсивних відношень;
- включення в ОКПМ засобів, які дозволяють формувати і супроводжувати концептуальні моделі, відмінні від таксономії;

- урахування факторів невизначеності при виборі структури концептуальних понять предметних областей і їх ознак.

Зупинимося на питаннях розробці онтологічної конструктивної структури ОКПМ. Онтологічна система підтримки ОКПМ задається первинними наборами абстрактних концептуальних категорій, що мають властивість універсальності і визначаються інструментарієм конструювання об'єктів. ОКС є базовим інструментарієм моделювання онтології ОКПМ, задається впорядкованою четвіркою класів: носія $\hat{M}$, сигнатури $\hat{\Sigma}$, числення $\hat{\Lambda}$ та виконавців $\hat{Z}$:

$$\hat{C} = \langle \hat{M}, \hat{\Sigma}, \hat{\Lambda}, \hat{Z} \rangle. \quad (1.1)$$

Класи носія і виконавців дозволяють розглядати структуру (1.1) у визначальному і аспектах погоджування моделей. Визначальний аспект характеризує носій структури ($Carr$), як основну визначальну частину, що за допомогою виконавців $\hat{Z}_v \subset \hat{Z}$ формує складові частини (1.1) – носія $\hat{M}$, сигнатури Σ , числення Λ і внутрішніх виконавців Z_v :

$$Carr \xrightarrow{\hat{Z}_v} C = \langle M, \Sigma, \Lambda, Z \rangle. \quad (1.2)$$

В (1.2) позначено $Z = \hat{Z}_v \cup Z_v$.

Аспект породжування ОКС (1.1) проявляється в структурі довільної предметної області (ПО) C через конструювання саме її понятійних об'єктів – носія, сигнатури, числення і внутрішніх виконавців. Розглянемо класи (1.1), (1.2) детальніше.

Клас носія M структури C включає вхідний базис простих об'єктів (екземплярів) M_0 , абстрактні поняття додаткових символів D , елементів класів: операторів, відношень, відображень, конструктивних форм; характеристичних понять, їх показників і значень, класів вільних конструкцій довільного рівня. Носій M призначений для формування на ньому понятійних об'єктів. Базисний

носії об'єктів M_0 є основоположним для еволюційного, такого що породжує, формування родовидових конструктивних класів: об'єктів $\mathfrak{O}^k$, ознак $\mathfrak{L}^k$ і виведених онтологічних об'єктів $\mathfrak{O}_*^k$ вищих, тобто утворених k -тих рівнів.

Класи сигнатур Σ онтологічної структури визначають дії для формування об'єктів і нових відображень і відношень. Клас складений з системоутворюючої базисної Σ^0 , породжуючої Σ^+ і тої що конструюється Σ^* сигнатур. Утворююча сигнатура складається з класу простих операторів $\mathfrak{O}^0 \subset \mathfrak{O}$, класу простих відношень і відображень $\mathfrak{V}^0 \subset \mathfrak{V}$, що включає сполучні підкласи $\mathfrak{A}^0$ і $\mathfrak{R}^0$, та класу відображень породжую чого вибору $\mathfrak{V}^0$ онтологічних об'єктів. Породжуюча сигнатура Σ^+ включає класи відображень $\mathfrak{Q}$ і $\mathfrak{M}$, призначені для формування конструкцій-дій класу Σ^* [75].

Класи виконавців Z (1.2) включають підкласи зовнішніх Z_ν , внутрішніх Z_ν виконавців і їх гібридизації Z_g . У багатьох випадках в ролі зовнішніх виконавців виступають експерти. Внутрішні виконавці призначені для реалізації операторів-дій класу $\mathfrak{O}$, інтерпретацій складових сигнатури Σ і конструюються в структурі (1.2) алгоритмів-дій.

Клас обчислень є ядром ОКС відображає властивості її системної структуризації. Він складається з постулатів (аксіом), визначень, інструкцій, правил, властивостей компонент структури тощо, необхідних для організації конструювання об'єктів і відображень. Правила обчислення Λ конструюють класи структури, $\Lambda : M \times \Sigma \rightarrow \mathfrak{O}^k$, $\Lambda : \Sigma \times \Sigma \rightarrow \Sigma^*$, і $\Lambda : \Lambda_i \times \Lambda_j \rightarrow \Lambda_g$, причому дозвільна характеристика обчислення задає різні галузі аналізу. Зазначені компоненти структури ОКС постулюються, визначаються і перетворюються численнями з класу Λ .

Розглянемо деякі моделі ОКС для окремих класів (1.2). Базисний носій примірників онтології M_0 , що задає початкові положення породження об'єктів, введений в носій ОКС, щоб уникнути порушення властивостей системності та таксономії онтологічної структури. Породження онтологічних об'єктів виконується сигнатурною компонентою структури ОКС, що містить базову складову Σ^0 . При цьому клас відношень і відображень $\mathfrak{V}^0 \subset \Sigma^0$, $\mathfrak{V}^0 \subset \mathfrak{V} \subset Rf\mathfrak{A}$ на базис-

ному носії $\mathfrak{C}_0 \cup \mathfrak{X}_0 \subset M_0$ задає таксономію онтології $\langle \mathfrak{C}_0 \cup \mathfrak{X}_0, \mathfrak{V}^0 \rangle$ об'єктів нульового рівня $\mathfrak{K}^0$.

В ОКС використовуються прості відношення порівняння, включаючи родові і видові порівняння. Для відношень порівняння $\nu_j, \nu_q \in \mathfrak{R}_\nu^0$ на видовому і родовому класах $\mathfrak{C}_0$ і $\mathfrak{X}_0$ справедливі властивості (наведені для класу $\mathfrak{C}_0$, для родового класу $\mathfrak{X}_0$ вони такі ж):

- вільності, якщо з порівняння $(c_i, c_k)_j$ допустимо порівняльне відношення $\nu'_j : (c_i, c_k)_{j'}$;
- відношення $\nu'_j \in \mathfrak{R}_\nu^0$ зберігає властивості індукування відносини ν_j ;
- відношення $\nu_j \in \mathfrak{R}_\nu^0$ на родовидових елементах $c_k, c_i \in \mathfrak{C}_0$ визначає конструкцію $(c_k(x_k), c_j(x_i))\nu_j$, з індуктуючими відношеннями порівняння φ_j^1 і φ_j^2 такими, що $((c_k, c_i)\varphi_j^1, (x_k, x_i)\varphi_j^2)$.

На основі відношень порівняння виконується породження об'єктів і класів онтології. Нульовий порядок (ранг) відношень або відображень $\beta_j \in Rf \mathfrak{K}$ визначається їх рангами, які не перевищують двох. Об'єкти, сконструйовані на базисному носії M_0 ОКС структури (1.2) за допомогою відображень і операторів нульового порядку з класів $\mathfrak{V}^0$ і $\mathfrak{D}^0$, називаються об'єктами нульового рівня і нульового порядку конструювання онтології.

Конструювання об'єктів нульового рівня і порядку відношеннями порівняння здійснюється за такими правилами [75]:

- об'єкт онтології нульового рівня b_{kij} , сформований на екземплярах a_k і a_i відношеннями порівняння ν_j , задається конструкцією $b_{kij} = (a_k, a_i)_j$, $\forall a_k, a_i \in \mathfrak{C}_0 \mid \mathfrak{X}_0$, при цьому об'єкти b_{kij} і b_{qrm} однотипні, якщо відповідні конструкції порівняльних властивостей однотипні;

- окремими випадками об'єктів $b_{k_{ij}}$ є вироджені об'єкти $b_{0_{ij}} = (a_0, a_i)_j = a_k$ і порожній об'єкт $b_{0_{0i}} = b_0 = a_0$;

– об'єкти побудовані на класі $\mathfrak{C}_0 | \mathfrak{X}_0$ за допомогою відношень $v_j \in \mathfrak{R}_v^0$ утворюють конструктивне сімейство концептів $\mathfrak{F}_{\mathfrak{R}_v^0}^0$ нульового рівня таке, що $\mathfrak{C}_0, \mathfrak{X}_0 \subset \mathfrak{F}_{\mathfrak{R}_v^0}^0$;

- якщо $\mathfrak{D}_0^0 \subset \mathfrak{D}$ – вільний клас об'єктів нульового рівня і порядку, то $\mathfrak{F}_{\mathfrak{R}_v^0}^0 \subset \mathfrak{D}_0^0$, де символ $\vec{\subset} \in \mathfrak{D}^0$ визначає оператор включення сімейства в клас;

– $S_1^0 \subset S_2^0$, де $S_1^0 = \langle \mathfrak{C}_1, \mathfrak{R}_{v,1}^0 \rangle$, $S_2^0 = \langle \mathfrak{C}_2, \mathfrak{R}_{v,2}^0 \rangle$, $\mathfrak{C}_1, \mathfrak{C}_2 \subset \mathfrak{C}_0$ и $\mathfrak{R}_{v,1}^0, \mathfrak{R}_{v,2}^0 \subset \mathfrak{R}_v^0$, якщо $\mathfrak{C}_1 \subset \mathfrak{C}_2$ и $\mathfrak{R}_{v,1}^0 \subset \mathfrak{R}_{v,2}^0$;

- властивості відношень класу $\mathfrak{R}_{v,2}^0$ зберігаються для відношень класу $\mathfrak{R}_{v,1}^0$.

Наведене обчислення дозволяє конструювати прості об'єкти-властивості, показники властивостей і їх класи нульового рівня, а також допускає формування простої таксономії онтології ОКПС. Дії операторів виконуються виконавцями певним чином по алгоритмічним вказівкам. В обчисленні наведені загальні можливості операторів і виконавців, необхідні для конструювання алгоритмів, критеріїв тощо. В (1.2) передбачені прості відношення підпорядкування, в яких компонента відношень підпорядкування $\mathfrak{R}_v^0 \subset \mathfrak{R}^0$ виконує зв'язування об'єктів різної природи в єдину понятійну конструкцію підпорядкування – сутність, тим самим задаючи основну визначальну складову і також таку що визначає підпорядковану складову конструкції. На основі базисних відображень з'єднання з різних онтологічних примірників утворюють складні конструкції. Результатом відображення можуть бути неоднорідні конструкції наділені діями, що, наприклад, дозволяє формувати ознаки з діями, які необхідні для породження критеріїв виведення знань та ін.

Процедури ОКС (1.2) також забезпечують формування структур системи концептів онтології, відмінних від таксономії. Найпростішим природним прик-

ладом необхідності універсальних засобів формування мережових структур є завдання конструювання і концептуального моделювання часткових n -арних відношень при $n > 2$. Такими відносинами є, наприклад, «Поставка» (пов'язує класи «Вантажі», «Власники», «Перевізники»), «Поїзд» («Локомотив», «Локомотивна бригада», «Склад поїзду», «Графік»). Розроблені процедури підтримки ОКПМ, зокрема концептуального моделювання понять області КПМ, забезпечують реалізацію таких вимог, істотно розширюючи сферу інформаційного моделювання систем.

Реалізація цілей ОКПМ стосовно АСУ УЗ являється можливою в силу існуючої організації діючих систем, а також за рахунок використання ключових методологічних принципів і стандартів створення онтологій предметних областей [34, 56]. Реалізація можливості багаторазово використовуватися ОКПМ в новому оточенні, як і в інших прикладних ОнС, забезпечується завдяки створенню потужних засобів концептуального моделювання КПМ.

Зазначені властивості ОКПМ являють можливості використання онтологічного методу для підтримки процесів ефективного функціонування АСУ вантажними залізничними перевезеннями, а також їх подальшого розвитку. У роботі [116] виконано розвиток методології КПМ для умов застосування у галузях або складних технологіях, які безперервно розвиваються. Удосконалення моделей та засобів ОКПМ розширює можливості застосування КПМ для інтелектуальної онтологічної підтримки АСУ залізничного транспорту України. Вирішення цього завдання вимагає систематизації та уніфікації класів основних аналітичних задач АСУ в численних сферах автоматизації, розроблення узгодженої системи концептів, створення та всебічної апробації на практиці засобів онтологічного супроводу процесів в УЗ.

ГЛАВА 2

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕХАНІЗМИ УПРАВЛІННЯ ПАРКАМИ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ЗАСОБАМИ АНАЛІТИЧНИХ СЕРВЕРІВ

2.1. Концепція аналітичних серверів в складі АСК ВП УЗ-Є

2.1.1. Призначення аналітичних серверів

Нині на українських залізницях (УЗ) для управління вантажними перевезеннями, в тому числі управління окремими парками ТС, використовується інформаційна система нового покоління – «Автоматизована система керування вантажними перевезеннями УЗ єдина» (АСК ВП УЗ-Є), яка відповідає вимогам до сучасних масштабних корпоративних систем [100]. Відкрита архітектура АСК ВП УЗ-Є дозволяє вести роботи з автоматизації різних аспектів управління вантажними перевезеннями та окремими парками ТС. Система АСК ВП УЗ-Є орієнтована перш за все на задачі збирання та оброблення інформації про фактичний хід вантажних перевезень. При цьому завдяки відкритій архітектурі системи на її платформі можуть вирішуватись також задачі підтримки рішень персоналу щодо управління процесами вантажних перевезень (УВП), в тому числі з використанням методів моделювання. Зрозуміло, що відповідні підсистеми матимуть ряд спільних функцій та повинні спиратися на спільні методи їх реалізації, тож доцільно координувати їх створення і підготувати засади до їх певної уніфікації. Для означення підсистем підтримки функцій управління вантажними перевезеннями в АСК ВП УЗ-Є запропоновано використовувати термін «Аналітичні сервери» – АС [27, 32, 33].

Аналітичні сервери (АС) є складовою комплексу інформаційних систем, що спрямовані на підтримку процесу управління парками ТС та вантажними перевезеннями. Як відомо, основою комплексу управління вантажними перевезеннями та значною часткою парків ТС на сьогоднішній день є АСК ВП

УЗ-Є, котра забезпечує збирання, обробку та збереження повних даних про функціонування всіх рухомих (вагонного, локомотивного) парків та стаціонарних об'єктів (в тому числі парків залізничних станцій) вантажних перевезень.

Призначення АС полягає в тому, щоб, спираючись на інформаційний фундамент АСК ВП УЗ-Є, забезпечувати безпосередню інформаційну підтримку управлінських рішень. При цьому при їх створенні вочевидь необхідно враховувати специфіку використання АС для основних категорій персоналу, що забезпечує управління вантажними перевезеннями на різних рівнях, насамперед, для керівного, інженерно-технічного та диспетчерського персоналу УЗ (рис. 2.1).

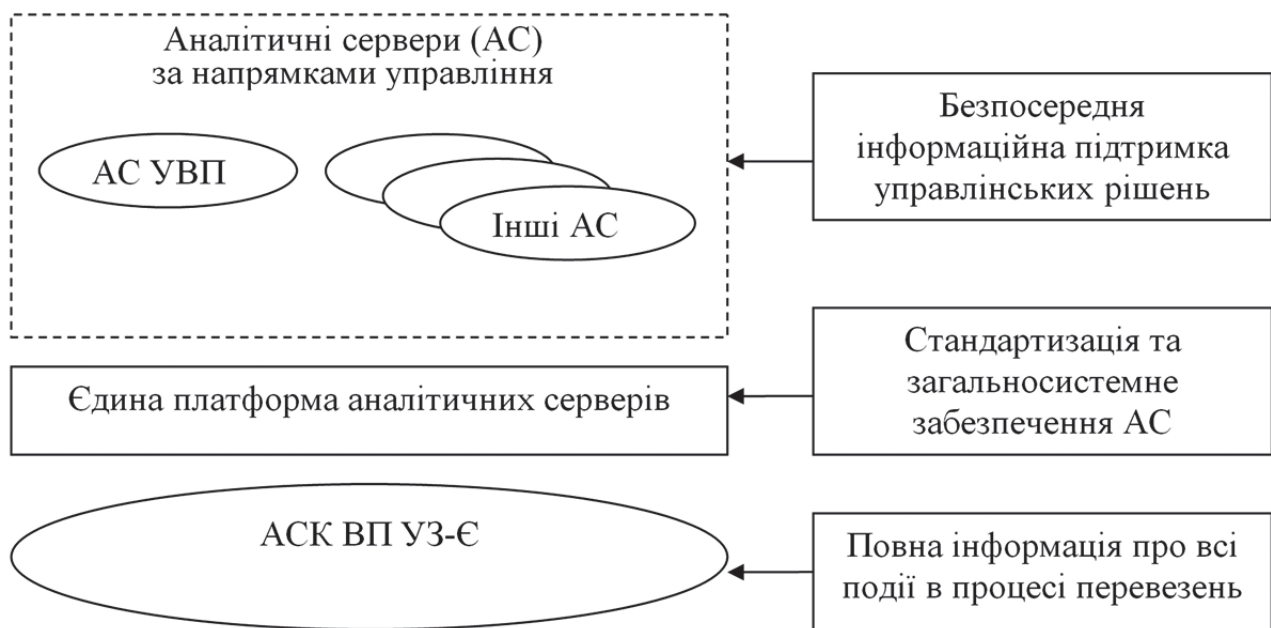


Рис. 2.1 Призначення АС і взаємодія з АСК ВП УЗ-Є

Орієнтація на ефективність підтримки конкретних управлінських функцій визначає необхідність створення комплексу або сімейства АС, які мають спеціалізуватись на різних типах задач управління вантажними перевезеннями. Разом з тим, згідно із сучасними підходами до створення інформаційних

систем, є доцільним використання спільної платформи, в рамках якої вирішуються питання стандартизації загальносистемного забезпечення АС.

2.1.2 Принципи створення АС

Огляд принципів створення аналітичних серверів, згідно яким розроблюється ця методика, наведений на рис. 2.2.

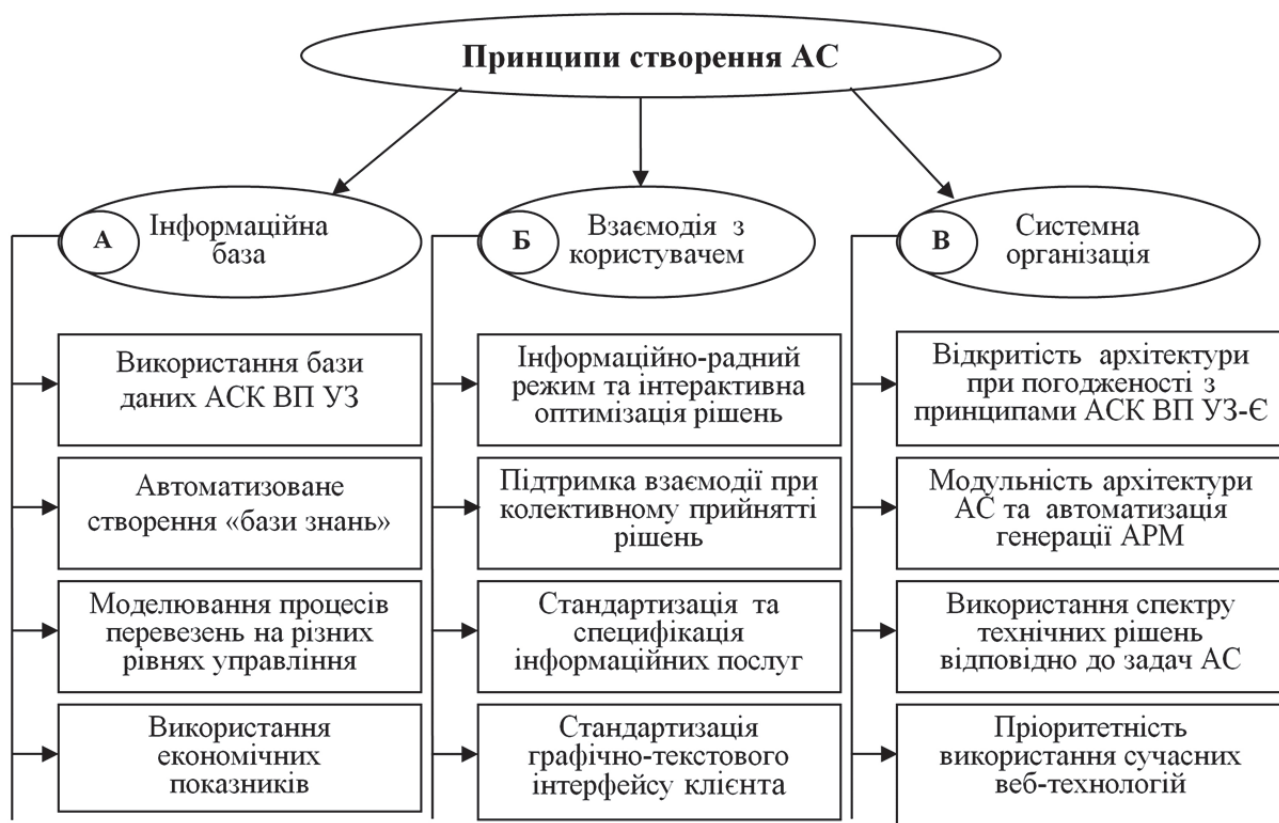


Рис. 2.2. Принципи створення та використання інформаційної бази

Принципи згруповані по наступним категоріям:

- формування та використання інформаційної бази;
- взаємодія з користувачами;
- системна організація.

Принципи формування та використання інформаційної бази полягають в тому, що АС мають спиратися на повну інформаційну базу АСК ВП УЗ-Є, в тому числі на оперативні та архівні дані, які відображують стан та історію

всіх об'єктів вантажних перевезень, а також на статистичну базу даних системи.

Має виконуватись автоматизоване створення «бази знань», яка включає результати поточної обробки первинних даних («очищення», кластеризація, апроксимація тощо). Використання цих даних має суттєво підвищити ефективність рішення типових задач підтримки управління (діагностика станів процесів, прогнозування, вибір оптимальних за встановленими критеріями рішень тощо).

Для вирішення задач прогнозування динаміки технологічного процесу перевезень та оптимізації управління має використовуватись структурована сукупність математичних моделей, які відповідають різним рівням управління та використовують набір сучасних технологій моделювання (зокрема, апарат нейронних мереж, імітаційних моделей, нечітких моделей управління тощо).

Для оцінки управління та його оптимізації мають широко використовуватись економічні показники ефективності в сукупності з традиційними експлуатаційними показниками. Відповідна нормативно-довідкова інформація за ступенями деталізації має відповідати різним рівням управління.

Принципи взаємодії АС з користувачем припускають, що в рамках АС мають бути реалізований як суто інформаційний, так і інформаційно-радний режим підтримки управлінських рішень. В останньому випадку слід виходити з того, що в процесі управління інформаційна система відіграє роль асистента, оскільки відповідальність за наслідки управління лежить на користувачі і рішення має приймати саме він. Згідно з цим необхідним є інтерактивний режим взаємодії АС та користувача при виборі оптимальних управлінських рішень, коли досвід та більш детальна інформованість управлінця про особливості оперативної ситуації поєднуються з широкими можливостями системи з кількісної оцінки ефективності варіантів управління та зручного відображення ситуації управління.

Виходячи з колективного характеру процесу управління АС має створювати інформаційне середовище для ефективної підтримки взаємодії управлінців різних рівнів у відповідності до їх компетенції та відповідальності.

Принцип стандартизації послуг виходить з того, що при наявності широкого кола різноманітних інформаційних послуг вони мають пропонуватися користувачеві у чітко специфікованому вигляді, який дозволить легко орієнтуватись в їх призначенні та якісних характеристиках. Стандартизація повинна також підвищити ефективність планування та розробки нових інформаційних сервісів згідно з реальними потребами користувачів.

Стандартизація графічно-текстового клієнтського інтерфейсу має виконуватись з урахуванням вимог основних категорій користувачів. До найбільш важливих груп користувачів можна віднести керівний персонал структурних підрозділів, який здебільшого зосереджений на аналізі даних оперативної звітності, а також диспетчерський персонал, якому потрібна інформація про оперативну ситуацію на керованому полігоні залізниці.

Принципи системної організації АС припускають, що відкритість архітектури є фундаментальним принципом сучасних інформаційних систем. Зокрема, відносно аналітичних серверів це означає пристосованість платформи до розширення складу розроблюваних АС, а конкретних аналітичних серверів – до розширення складу їх інформаційних послуг. Разом з тим необхідно забезпечити погодженість платформи АС з принципами розвитку АСК ВП УЗ-Є. Цьому сприяє те, що архітектура АСК ВП УЗ-Є передбачає стандартизовану взаємодію з серверами застосувань, до яких безпосередньо належать АС.

Модульність програмного забезпечення також є нині практично обов'язковою рисою сучасних інформаційних систем. Відносно АС модульність має втілюватись зокрема в створенні комплексу відносно самостійних та пристосованих до самостійного використання і комплексування програм-сервісів, які виконують певні завершені функції інформаційного обслуговування клієнтів з певними характеристиками якості. Такий підхід має

скласти основу для ефективної автоматизації генерації клієнтських робочих місць (АРМ) в рамках АС.

Виходячи з перспективи створення сімейства АС, які мають вирішувати різноманітні типи задач підтримки управління, доцільно передбачати використання широкого спектру програмно-технічних рішень відповідно до особливостей таких задач. Зокрема, це стосується можливості використання з боку АС власних апаратних ресурсів та ресурсів вузлів АСК ВП УЗ-Є, а також розподілення ресурсів в рамках схеми клієнт-сервер.

При наявності широкого спектру апаратно-програмних рішень по створенню АС, доцільно віддавати пріоритет сучасним веб-технологіям. В рамках таких технологій нині створений ряд стандартних рішень, які забезпечують ефективні комунікації при наявності інформаційної безпеки та досить розвинутого текстово-графічного інтерфейсу користувачів. Динаміка розвитку цих технологій та їх загальна прийнятність підтверджують перспективність їх використання при створенні АС.

2.1.3. Загальна схема функціонування аналітичних серверів в складі АСК ВП УЗ-Є

При розробці відповідних моделей і методів проектування АС необхідно забезпечити їхню реалізацію на основі нового інтегрованого середовища для створення уніфікованих автоматизованих систем керування вантажними перевезеннями залізничного транспорту України (АСК ВП УЗ-Є).

Це середовище ґрунтується на єдиній архітектурі побудови систем, що враховує особливості сучасних і перспективних інформаційних технологій і систем [44]. Такою архітектурою є мережецентрична сервіс-орієнтована архітектура (service-oriented architecture, SOA) – модульний підхід до розробки інформаційних систем, в основі якого лежить розробка сервісів зі стандартизованими інтерфейсами [25, 44].

Інтегруючі принципи створення АСК ВП УЗ-Є засновані на уніфікованих об'єктно-орієнтованих моделях даних фреймовського типу [93], що використо-

вуються для відображення об'єктів залізничного транспорту і процесів функціонування, а також на методах і технологіях організації баз даних, сховищ даних і баз знань. Іншим аспектом, що треба враховувати, є функції системи по організації обчислювальних процесів у розподіленій мережній архітектурі єдиного середовища автоматизованих систем залізничного транспорту України.

В роботі [47] АСК ВП УЗ-Є представлена як мережецентрична, сервіс-орієнтована, інформаційна система з 4-х рівневою архітектурою SC-WS-AS-DBS (SC – Server-Client, WS – Web-Server, AS – Application Server, DBS – DataBase Server), структурна модель якої показана на рис. 2.3 [47].

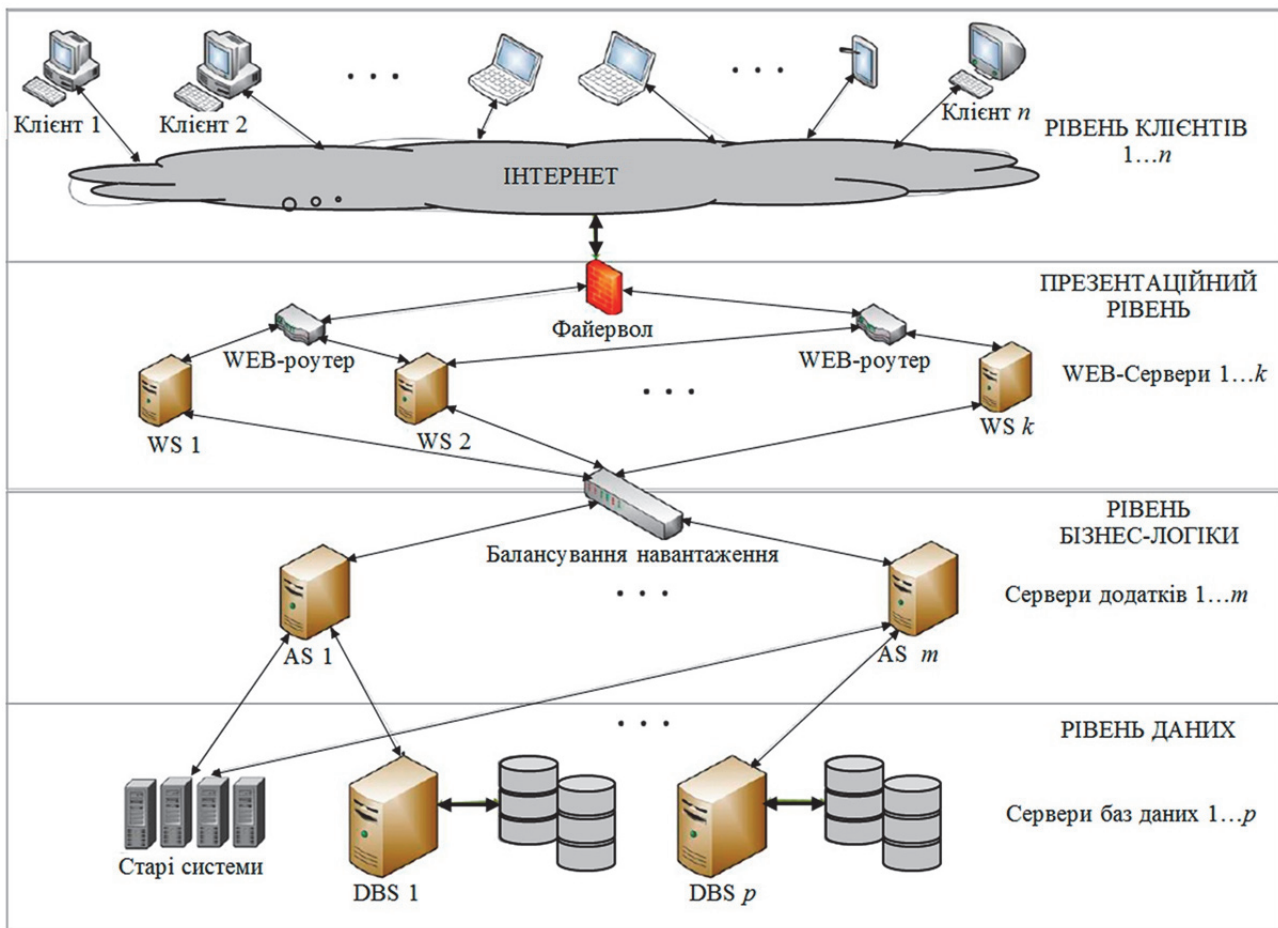


Рис. 2.3. Структурна модель АСК ВП УЗ-Є

Комплекс «Стандарти і методологія» в складі АСК ВП УЗ-Є включає питання системних угод, необхідних для забезпечення рівнобіжної розробки і ро-

звітку компонентів системи. Основним напрямком у даному комплексі є уніфікація даних угод, орієнтація їх на перспективні загальноприйняті підходи. Таким чином, методика проектування значної частини компонентів АС вже приречена дотримуватися тих правил, які прийняті при побудові комплексів АСК ВП УЗ-Є.

З рис. 1.3 можна побачити, що місце АС в складі комплексу АСК ВП УЗ-Є може бути як в складі WEB-серверів презентаційного рівня, так і в складі серверів-додатків рівня бізнес-логіки. Це визначається функціональним призначенням АС, про що буде йти мова нижче.

Взаємодія АС з клієнтами та ядром АСК ВП УЗ-Є

Загальна схема, що відображає функціонування аналітичних серверів в складі АСК ВП УЗ-Є, наведена на рис. 2.4.

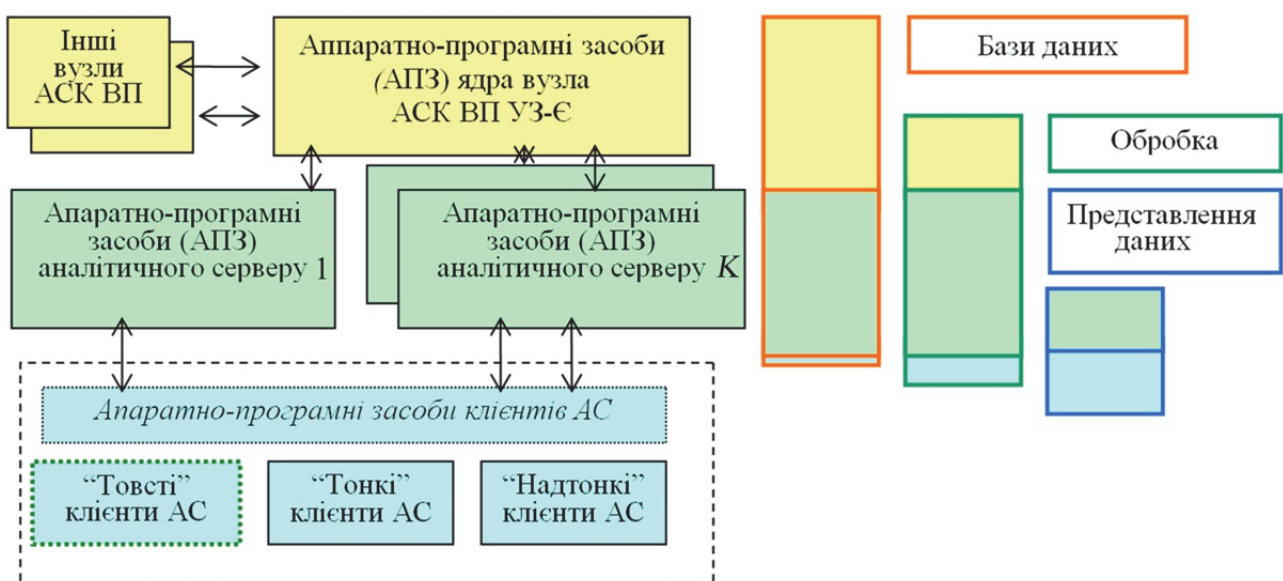


Рис. 2.4. Схема взаємодії АС з клієнтами та ядром АСК ВП УЗ-Є

Тут виділяються три рівні, на яких відбувається функціонування АС:

- рівень апаратно-програмних засобів (АПЗ) ядра АСК ВП УЗ-Є;
- рівень АПЗ власно аналітичних серверів (АС);
- рівень АПЗ клієнтів АС.

Нижче пояснюються особливості взаємодії цих рівнів стосовно трьох базових функції інформаційних систем – ведіння бази даних, рішення прикладних задач (обробки даних) та відображення результатів обробки для користувачів.

АПЗ ядра АСК ВП УЗ-Є насамперед забезпечують ведіння бази даних, якою користуються задачі АС. Тут також можуть функціонувати деякі програми обробки даних (наприклад, програми для формування бази знань). Важливо підкреслити, що згідно з архітектурою АСК ВП УЗ-Є аналітичні сервери, як правило, мають функціонувати в рамках конкретних вузлів системи. При цьому вони спираються на єдину логічну базу даних, в межах якої відбувається обмін даними між фізичними вузлами АСК ВП УЗ-Є (рис. 2.4).

АПЗ власно АС (це можуть бути апаратні сервери, які функціонують під управлінням власної операційної системи) забезпечують виконання більшої частини прикладних задач АС та задач управління взаємодією з клієнтами. На цьому рівні також ведуться локальні бази даних аналітичних серверів (наприклад, даних, які необхідні для адміністрування клієнтів АС або для рішення локальних задач оптимізації). Ці АПЗ можуть також вирішувати задачі представлення даних для користувачів (наприклад, при створенні АС на базі веб-рішень програмна реалізація текстово-графічного інтерфейсу користувача значною мірою відбувається на сервері).

Функції, що покладаються на АПЗ клієнтів (клієнтські комп'ютери) можуть бути досить різними згідно із задачами відповідних робочих місць. Згідно із технічною політикою розвитку системи АСК ВП УЗ-Є, перевага віддається так званим «тонким клієнтам» – рішенням, які мінімізують вимоги до супроводження клієнтських АПЗ за рахунок виконання більшості функцій системі в її серверній частині. Стосовно АС ми будемо розуміти під «тонкими клієнтами» ПК користувачів, на яких не ведеться власна база даних (що потребує використання ПЗ системи управління базами даних), а розміщуються лише ПЗ для виконання прикладних програм та відображення даних. Варіантом такого рішення при використанні веб-технологій є «надтонкий клієнт», де на

ПК користувача може використовуватись лише стандартна програма-браузер. Відзначимо, що схема рис. 2.4 допускає при необхідності реалізацію так званих «товстих клієнтів», на яких можуть функціонувати ПЗ системи управління базами даних. Саме для таких випадків на рис. 2.4 відображена можливість реалізації функцій ведіння бази даних на рівні АПЗ клієнтів.

2.1.4. Напрямки та етапи створення аналітичних серверів

Особливості функціонального складу АС згідно з категоріями користувачів

Згідно з напрямками використання аналітичної інформації можна виділити три основні категорії користувачів АС:

- керівний персонал, для якого необхідно в першу чергу аналізувати показники ефективності використання ресурсів УЗ (в тому складі по структурних підрозділах), а також виконання планових завдань;
- інженерно-технічний персонал, для якого разом з функціями аналізу показників ефективності та виконання планових завдань необхідно забезпечити підтримку складання та оптимізації планів перевезень;
- оперативно-диспетчерський персонал, для якого найбільш важливими є функції одержання та аналізу інформації, що характеризує поточну ситуацію управління, а також підтримки оперативних управлінських рішень (рис. 2.5).

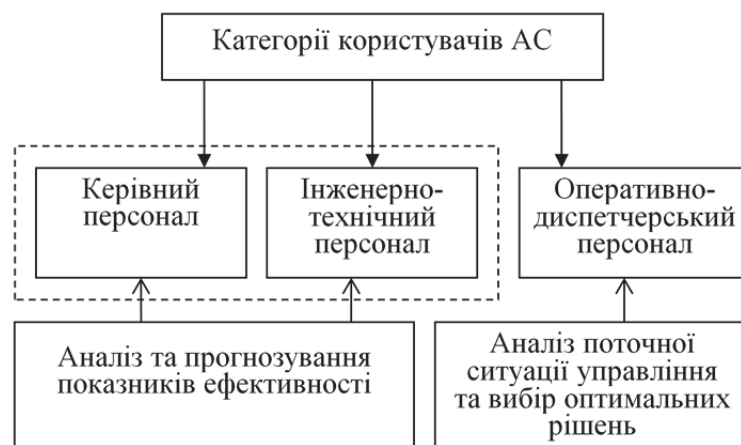


Рис. 2.5. Напрямки створення АС

Вочевидь функціональний склад АС для перших двох категорій персоналу є досить спорідненим: він базується, в першу чергу, на аналізі фактичних та планових показників. Напроти, функції АС для оперативно-диспетчерського персоналу зорієнтовані на аналіз оперативної інформації та оптимізацію оперативного управління, тобто суттєво відрізняються.

Виходячи з цього доцільно розглядати створення двох платформ АС, які призначені відповідно для керівного та інженерно-технічного персоналу, а також для оперативно-диспетчерського персоналу.

Загальна класифікація функцій АС

Доцільно виділити суттєво відмінні категорії функцій АС:

- базові функції, які мають входити до складу платформ АС (тобто, є спільними для різних модифікацій аналітичних серверів);
- прикладні функції, які відповідають задачам АС для конкретної категорії користувачів.

З огляду на призначення АС, до складу базових функцій мають входити:

- одержання та аналітичну обробку даних;
- прогнозування динаміки процесу та його показників;
- підтримка оптимізації управлінських рішень;
- оцінка очікуваних наслідків управління;
- адміністрування аналітичного серверу.

Водночас, для кожного з варіантів платформи АС можливі певні відмінності.

Склад прикладних функцій має визначатись в ході розробки конкретних АС. Прикладами таких функцій є підтримка складання різних типів оперативних планів, підтримка оптимізації рішення різних типів задач управління вагонопотоками тощо.

2.2. Методика реалізацій базових функцій аналітичних серверів

Як було визначено раніше, базові функції аналітичних серверів повинні

включати:

- одержання та аналітичну обробку даних;
- прогнозування динаміки процесу перевезень та його показників;
- підтримку оптимізації управлінських рішень;
- оцінку очікуваних наслідків управління.

Нижче описані засади методики формування відповідних функціональних підсистем. Щодо функцій адміністрування АС, які теж входять до набору базових, то на наш погляд їх детальна характеристика виходить за рамки цієї монографії, бо стосується конкретних системних та програмних рішень.

2.2.1. Методика аналітичної обробки даних в аналітичних серверах

Основою підтримки рішень персоналу з управління вагонними парками має стати аналіз поточної ситуації управління та наявних статистичних показників його ефективності. Переважна більшість відповідної інформації сьогодні накопичується в базі даних АСК ВП УЗ-Є (зокрема, в оперативній і статистичній базі, а також в сховищі даних). Однак на цей час АСК ВП УЗ-Є не має розвинених засобів надання такої інформації користувачам. Отже, методика, яка пропонується, має за мету вирішення цієї проблеми на сучасному рівні.

Як відомо, нині для обробки та аналізу облікових даних широко використовується комплексна технологія OLAP (Online Analyzing Processing) [26]. Найбільше поширення ця технологія отримала в галузі аналізу продаж. Її властиві насамперед такі риси:

- використання гнучкого інтерфейсу користувача, який дозволяє в інтерактивному режимі обирати різні ракурси аналізу даних, а також відображувати відповідні залежності у вигляді таблиць та діаграм;
- створення специфічних структур даних (зокрема, так званих гіперкубів та відповідних крос-таблиць), які дозволяють найбільш економічно зберігати необхідну інформацію для її оперативного надання користувачеві;
- використання апарату статистичної обробки даних (інтерполяція, статистичне прогнозування тощо) для їх аналізу у вигляді математичних залежно-

стей.

Нині існує досить багатий вибір програмних продуктів, в яких втілена технологія OLAP. Однак, їх безпосереднє використання в складі АС обмежується суттєвими особливостями обліку показників процесу перевезень:

- аналіз виконується з використанням великої кількості (декілька десятків) показників, що пов'язані між собою. Традиційно використовується досить специфічна технологія такого аналізу, особливості якої необхідно враховувати;

- облікові дані нині розміщуються насамперед в статистичній базі АСК ВП УЗ-Є, яка має досить жорстку структуру. Це ускладнює, якщо зовсім не виключає використання “класичної” моделі даних OLAP;

Зважаючи на це, доцільно зосередитись в рамках створення АС на розробці спеціалізованого механізму аналітичної обробки даних, який повинен використовувати найважливіші принципи технології OLAP і разом з тим максимально враховувати існуючі особливості обліку показників використання парків, а також динаміку розвитку цього обліку в межах АСК ВП УЗ-Є.

Важливою рисою такого підходу є етапність розробки підсистеми аналітичної обробки даних в АС. Основні етапи мають включати створення на базі принципів OLAP механізму інтерактивного доступу до існуючих даних АСК ВП УЗ-Є (зокрема, із статистичної бази).

2.2.2. Методика прогнозування динаміки процесів використання парків технічних систем

Як уже було зазначено вище, задачі прогнозування мають вирішуватись майже на всіх етапах управління вантажними перевезеннями та парками ТС.

Це стосується таких принципово різних напрямків, як прогнозування власно динаміки переміщення вагонних парків (характеристик вантажопотоків, переміщення порожніх вагонів та вагонів конкретних власників, характеристик поїздоутворення тощо) і прогнозування показників використання вагонних парків (робота, простої, обіг вагонів в межах структурних підрозділів тощо). Вирішення конкретних задач управління, а отже й прогнозування, потребує ство-

рення та використання конкретних математичних моделей на основі відповідних методів. Далі будуть розглянуті загальні засади використання методів прогнозування виходячи з особливостей процесу перевезень та ролі, яку мають відігравати АС в процесі управління.

Особливостями прогнозування процесів перевезень та експлуатації парків ТС

Важливими особливостями прогнозування процесів перевезень та експлуатації парків ТС є наступні:

- ці процеси містять суттєву за своїм вкладом випадкову складову, тобто можуть трактуватись як випадкові процеси. При цьому їх детермінована основа значною мірою визначається планами та графіком перевезень;
- на динаміку процесів перевезень суттєво впливають тимчасові зміни характеристик вантажопотоків та стану інфраструктури, тобто, необхідно враховувати їх нестаціонарний характер. Також суттєвим є вплив сезонних факторів;
- згідно з умовами організації управління перевезеннями за виробничо-територіальним принципом, прогнозування в значній частині задач має виконуватись по відношенню до характеристик процесів в межах певного структурного підрозділу;
- історія процесів перевезень в тій частині, яка відображує зміни станів об'єктів, зберігається в сховищі даних системи АСК ВП УЗ-Є. Це створює можливості автоматизації аналізу їх статистичних характеристик. Разом з тим, сховище даних не містить важливої інформації про фактори, які впливали на характеристики процесів в конкретних умовах (наприклад, про особливості поточного стану об'єктів інфраструктури перевезень або управлінських рішень персоналу);
- фіксація фактичних значень прогнозованих параметрів в автоматизованій системі створює можливість автоматизованої оцінки точності прогнозування та адаптивної корекції параметрів прогностичних алгоритмів при зміні умов процесу перевезень чи процесів експлуатації парків ТС.

Загальний огляд сучасних методів прогнозування та перспектив їх використання в складі АС УВП

З позицій використання для задач управління прогнозування процесів перевезень та експлуатації парків ТС доцільно виділити наступні категорії методів прогнозування [23, 98]:

- прогнозування на основі аналізу передісторії процесів та статистичного впливу незалежних факторів (математичні методи аналізу регресії та авторегресії, згладжування даних тощо);
- прогнозування на основі моделювання логіки процесів (методи імітаційного моделювання);
- прогнозування з використанням знань та інтуїції експертів (методи експертних оцінок).

Ми будемо виходити з того, що кращій результат може бути одержаний при комплексному використанні методів, які належать до кожного з цих напрямків.

Дійсно, відтворення логіки розвитку прогнозованого процесу в конкретних умовах, що склалися (методи імітаційного моделювання), може суттєво доповнити результати аналізу попередніх даних прогнозованих процесів (методи математичного прогнозування), а участь експертів, які володіють досвідом управління та всіма аспектами поточної ситуації (методи експертних оцінок), надасть можливість врахувати фактори, які погано формалізуються, а також поточні пріоритети управління.

При цьому за основу методики слід прийняти саме математичні методи прогнозування, які використовуються для обробки та аналізу інформації в сховищах даних АСК ВП УЗ-Є.

Щодо використання імітаційних моделей для оцінки наслідків управління та прогнозування динаміки перевезень, то цим питанням присвячений підрозділ 2.2.5.

Характеристика математичних методів прогнозування для використання в АС УВП

Сучасна практика прогнозування процесів (насамперед в сфері економіки) спирається на такі групи методів:

- методи регресійного аналізу (що встановлюють статистичні залежності прогнозованих параметрів від значень факторів, які впливають) [98];
- методи адаптивного згладжування даних (перш за все модифікації так званого експонентного згладжування, зокрема алгоритми Брауна, Хольта, Вінтерса) [98];
- методи Бокса-Дженкінса (алгоритми AR, MA, ARMA, ARIMA та їх модифікації) [98];
- апарат нейронних мереж [79].

Нижче ми наведемо огляд цих методів з точки зору можливості їх використання в АС

Методи регресійного аналізу

Основна модель регресійного аналізу встановлює відображує статистичну залежність рівню Y прогнозованого фактору від рівнів факторів x_i (незалежні змінні) згідно з формулою

$$y = F(x_1, x_2, \dots, x_N) + \varepsilon \quad (2.21)$$

Тут F – оператор перетворення, ε – випадкова помилка визначення.

В найбільш простому (і водночас найбільш поширеному) варіанті завдання оператора F лінійного перетворення формула має вигляд

$$y_j = \sum_{i=1}^N \alpha_i x_{i1} + \varepsilon_j, \quad (2.22)$$

де x_{i1} – значення незалежних змінних, які відповідають рівню y_j прогнозованої (залежної) змінної, α_i – параметри моделі, що встановлюються за результатами

обробки накопичених даних (наприклад, за умовою мінімізації середньоквадратичної помилки).

Безпосереднє застосування цих методів для прогнозування використання вагонних парків обмежується наступним:

- процедура (2.22) не враховує визначеність прогнозованого фактору передісторією процесу;
- кількість факторів, які суттєво впливають на прогнозований параметр може бути досить значною. Оцінка їх впливу та вибір найбільш значущих факторів становить досить непросту задачу, яка повинна вирішуватись індивідуально для кожного прогнозованого процесу;
- рівні для ряду факторів можуть бути відсутні в сховищі даних.

Завдяки цим обмеженням можна розраховувати на використання регресійних методів лише в окремих задачах прогнозування в складі АС. Це, однак, не означає відмови від урахування впливу незалежних факторів при прогнозуванні. Але цей вплив може бути врахований завдяки використанню комбінованих методів, які будуть охарактеризовані нижче.

Методи згладжування даних

Ця група методів орієнтується на прогнозування параметрів процесу завдяки урахуванню його передісторії. Найбільше поширення тут одержали методи так званого експоненціального згладжування, які є досить простими в реалізації. Так, алгоритм одно параметричного експоненціального згладжування дозволяє виявити рівень тренду (невипадкової основи процесу) завдяки рекурентному співвідношенню

$$y_{t+1} = \alpha y_t + (1 - \alpha) \hat{y}_t, \quad (2.23)$$

де y_{t+1} – прогноз на наступний період часу; y_t – реальне значення в момент часу t ; $\hat{y}_t$ – оцінка на момент часу t ; α – параметр згладжування ($0 \leq \alpha \leq 1$).

Завдяки відповідному вибору параметру згладжування α можна визначити міру так званого «дисконтування» даних, які з їх старінням все менш впли-

вають на прогноз. При зменшенні значення α алгоритм стає більш чутливим до змін тренду, однак, при цьому збільшується дисперсія випадкових помилок прогнозування. Один з підходів до рішення цієї задачі – оптимізація параметру згладжування за критерієм мінімуму середньоквадратичної помилки на «тестовому» наборі даних.

Алгоритм двопараметричного експоненціального згладжування (Хольта) дозволяє виявити не тільки рівень, але й тенденцію зміни тренду, а відтіль і виконувати прогнозування на кілька шагів вперед:

$$\begin{cases} \Omega_t = \alpha y_t + (1 - \alpha)(\Omega_{t-1} - T_{t-1}), \\ T_t = \beta(\Omega_t - \Omega_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}, \\ \hat{y}_{t+p} = \Omega_t + pT_t. \end{cases} \quad (2.24)$$

Тут перше рівняння описує згладжений ряд загального рівню. Друге рівняння забезпечує оцінку тренду. Третє рівняння визначає прогноз на p відліків часу вперед. Оптимізація параметрів згладжування α , β виконується на тестовому наборі даних.

Алгоритм трипараметричного експоненційного згладжування (Вінтерса) забезпечує врахування сезонності завдяки використанню наступної процедури:

$$\begin{cases} \Omega_t = \alpha \frac{y_t}{S_{t-s}} + (1 - \alpha)(\Omega_{t-1} - T_{t-1}), \\ T_t = \beta(\Omega_t - \Omega_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}, \\ S_t = \gamma \frac{y_t}{\Omega_t} + (1 - \gamma)S_{t-s}, \\ \hat{y}_{t+p} = (\Omega_t + pT_t)S_{t-s+p}. \end{cases} \quad (2.25)$$

Дріб в першому рівнянні слугує для виключення сезонності з y_t . Після

цього алгоритм обробляє «чисті» дані, в яких відсутні сезонні коливання. Останні з'являються лише в фінальній частині прогнозу завдяки множенню на «сезонний коефіцієнт» S .

Таким чином, експоненційне згладжування даних в його найбільш розвиненому варіанті (трьох параметричний алгоритм Вінтерса) досить повно відповідає вимогам до прогнозування динаміки перевезень. Водночас цей алгоритм є досить простим в його реалізації і не вимагає значних обчислювальних ресурсів.

Метод комбінованого використання авторегресії та згладжування

Більш високу точність порівняно з методами, що розглянуті вище, забезпечують методи прогнозування, в яких згладжування комбінується з оцінкою параметрів авторегресії процесу. Вони відомі як методи Бокса-Дженкінса або ARIMA.

Ця група методів включає оцінку авторегресії на глибину p кроків ($AR(p)$), та «ковзного середнього» на глибину q кроків ($MA(q)$). Комбінація цих двох підходів дає алгоритм $ARMA(p,q)$. Найбільш повний варіант з «інтегрованим ковзним середнім» означається як $ARIMA(p,k,q)$ (тут k – кратність процедури методу послідовних різностей, яка використовується в алгоритмі). Саме варіант $ARIMA$, що пристосований для прогнозування нестационарних процесів, здобув широку популярність і реалізований в більшості сучасних програмних пакетів для економічного аналізу.

Модель $ARIMA(p,k,q)$ може бути записана у вигляді

$$y_{k_t} = \alpha_1 y_{k_{t-1}} + \alpha_2 y_{k_{t-2}} + \dots + \alpha_p y_{k_{t-p}} + \delta_t - \theta_1 \delta_{t-1} - \dots - \theta_q \delta_{t-q}, \quad (2.26)$$

де α_i – коефіцієнт авторегресії; θ_j – набори параметрів для обчислення «ковзних середніх»; δ_t – випадкові складові прогнозованого параметру;

Вагома перевага означеного класу алгоритмів полягає в тому, що нині існують методи, які поширюють цей підхід в напрямку урахування впливу незалежних факторів. Отже, модифікації методу Бокса-Дженкінса можуть бути ви-

користані для рішення задач прогнозування в АС.

При цьому слід враховувати, що складність реалізації та обчислювальна трудомісткість метода значно вища, ніж для алгоритмів згладжування даних. Отже, доцільно виконати попередні дослідження з порівняння цих методів на реальних даних, щоб визначити для яких саме задач АС доречно використання більш точних, але більш складних рішень.

Метод прогнозування з використанням нейронних мереж

Апарат нейронних мереж нині вважається одним з найбільш перспективних кількісних методів прогнозування. Зокрема його важливим перевагами є наступні:

- Можливість врахування впливу великої кількості незалежних факторів. Принциповою відмінністю нейронної мережі від суто математичних методів прогнозування є можливість використовувати її для попереднього вивчення впливу різних факторів на якість прогнозування. Остаточне налагодження виконується із виключенням факторів, вплив яких виявився незначним. Це дозволяє ефективно скоротити розмірність задачі.

- Відсутність прив'язки до жорстких обмежень математичних моделей. На відміну від математичних методів, що були розглянуті, формування моделі не передуює прогнозуванню, а виконується адаптивно в процесі навчання нейронної мережі на тестових наборах даних без участі експертів. Таким чином ми одержуємо максимально гнучкий апарат.

Все це робить використання нейронних мереж в АС привабливим. Але слід враховувати, що їх ефективне використання потребує високої кваліфікації та досвіду, а звідси – досить серйозної підготовки. Змістом такої підготовки має бути рішення різних задач прогнозування на базі реальних даних, а також створення або адаптація відповідного програмного забезпечення в середовищі АС.

2.2.3. Етапність створення підсистеми прогнозування

На основі аналізу сучасних методів прогнозування пропонується наступна етапність реалізації задач прогнозування в АС:

- на першому дослідницькому етапі повинна вирішуватись задача вивчення ефективності математичних методів прогнозування для конкретних даних із інформаційних сховищ АСК ВП УЗ-Є, а також варіантів програмної реалізації цих методів;
- на другому етапі в ході розробки АС мають бути реалізовані базові функції підсистеми прогнозування;
- на третьому етапі в рамках експлуатації підсистеми прогнозування АС виконується оптимізація параметрів використовуваних методів, а також поширення кола задач, для яких вони використовуються.

Нижче наводиться більш розгорнута характеристика кожного з означених тут етапів. Загальну картину відображує рис. 2.6.



Рис. 2.6. До характеристики методики прогнозування

Характеристика етапу вивчення ефективності методів прогнозування на даних із сховищ АСК ВП УЗ-Є

На цьому етапі необхідно вирішити наступні задачі (рис.2.6):

Одержання тестових даних із інформаційних сховищ АСК ВП УЗ-Є. Такі дані повинні включати відомості про планові та фактичні показники ефективності використання парків ТС із статистичної бази даних, а також про фактичну історію процесу перевезень із інформаційного сховища АСК ВП УЗ-Є. Дані із статистичної бази мають відображувати базові показники ефективності в рамках одного структурного підрозділу УЗ (конкретної залізниці чи дирекції перевезень) протягом як мінімум одного повного циклу зміни цих характеристик (одного року). Дані із інформаційного сховища мають відображувати повну історію операцій з усіма рухомими об'єктами перевезень протягом як мінімум однієї декади. Дані мають бути одержані в електронній формі разом із відомостями про їх організацію.

Одержання та адаптація або розробка програмних реалізацій методів прогнозування. Для виконання досліджень можуть бути одержані на некомерційних умовах відповідні версії програмних пакетів, які містять реалізацію методів прогнозування (наприклад, пакетів з економетрики). Разом з цим доцільно провести аналіз можливостей адаптації сторонніх програмних продуктів до використання в складі АС та умов їх придбання. Другий напрямок – самостійна розробка програмних реалізацій методів прогнозування. В рамках цього напрямку має бути накопичений практичний досвід для майбутньої програмної реалізації в АС. В обох випадках необхідно виконати пристосування тестових даних від АСК ВП УЗ-Є до обробки програмними засобами прогнозування.

Дослідження методів прогнозування на тестових даних від АСК ВП. Цей напрямок має передбачати вибір типових задач прогнозування (наприклад, прогнозування експлуатаційних показників використання вагонних парків та прогнозування динаміки вагонопотоків). Для таких типових задач в рамках порівнюваних методів мають бути створені відповідні математичні моделі та виконана ідентифікація їх параметрів. На тестових даних має бути досліджена точ-

ність прогнозування на різну глибину та вплив характерних факторів на цю точність.

Створення базових імітаційних моделей для відображення динаміки перевезень та оцінка їх прогностичних можливостей. Питанням створення імітаційних моделей для АС присвячений підрозділ 2.2.5.

Результатом етапу дослідження мають стати рекомендації з вибору методів прогнозування та конкретний досвід їх застосування, який має використовуватись при створенні підсистеми прогнозування АС.

Характеристика етапу реалізація базових функцій підсистеми прогнозування

На цьому етапі необхідно реалізувати наступні базові функції підсистеми прогнозування (рис.2.6):

Програмна реалізація методів прогнозування на платформі АС може включати реалізацію програмних продуктів власно розробників системи або адаптацію сторонніх програмних продуктів, якщо на попередньому етапі виявлена можливість та економічна доцільність останнього. Вимогою до створюваних програмних реалізацій є можливість їх використання по відношенню до широкого круга задач АС.

Механізм застосування методів прогнозування в АС має базуватись на принципі надання користувачам інформаційного сервісу (в даному випадку – вирішення задач прогнозування з відповідними вимогами до його точності та глибини). На цьому етапі мають бути також вирішені задачі організації попереднього вирішення задач прогнозування найбільш важливих параметрів в фоновому режимі з цілями підвищення оперативності відповіді на запит користувачів.

Механізм контролю точності адаптації параметрів алгоритмів має забезпечувати порівняння зафіксованого прогнозу і факту для кожного випадку прогнозування, статистичну обробку помилок та відображення відповідних характеристик точності прогнозування в зв'язку з його глибиною та використовуваними методами. З урахуванням фактичних реалізацій прогнозованих процесів

необхідно також автоматично корегувати параметри моделей, що використовуються для прогнозування.

Механізм підтримки експертної оцінки динаміки перевезень повинен надавати експертам всю необхідну інформацію для прогнозування, а також результати порівняння їх прогнозів і факту. Цей механізм має реалізувати автоматизовану оцінку “кваліфікаційних характеристик” експертів згідно з фактичною точністю їх прогнозів, а також враховувати таку оцінку при використанні прогнозів експертів.

Характеристика етапу контролю та оптимізації прогнозування АС

На цьому етапі реалізуються наступні базові функції підсистеми прогнозування (рис.2.6):

Контроль точності прогнозування виконується завдяки реєстрації фактичних значень прогнозованих параметрів згідно з даними АСК ВП УЗ-Є та порівняння цих значень з тими, що одержані з використанням різних методів прогнозування. Для відповідних розбіжностей (помилки прогнозування) повинен виконуватись розрахунок оцінок середніх значень та дисперсій. Для цього можуть бути використані процедури згладжування даних, які описані в підрозділі 2.2.2. Оцінки точності прогнозування з використанням різних методів мають відображатись для користувачів, щоб забезпечити застосування найбільш ефективних алгоритмів.

Корекція параметрів алгоритмів прогнозування за результатами контролю дозволяє забезпечити підвищення точності прогнозування та має вестись за наступними напрямками: компенсація постійної складової помилок прогнозування; оптимізація параметрів алгоритмів, які визначають зокрема співвідношення інерційності та точності прогнозування (наприклад, параметрів згладжування). Корекція та оптимізація параметрів алгоритмів має виконуватись в автоматизованому режимі.

2.2.4. Методика інформаційної підтримки рішень з оптимізації управління парками технічних систем

Підходи до задач підтримки оптимізації

Оптимізація рішень з оперативного управління парками ТС в аналітичних серверах може виконуватись в рамках різних за змістом задач управління. Відповідно, при вирішенні задач оптимізації повинні використовуватись конкретні математичні моделі, склад яких може поступово доповнюватись [46]. Однак, при цьому доцільно застосовувати загальні принципи та інструменти для реалізації таких задач. В даному підрозділі пропонуються загальний механізм вирішення різних задач оптимізації в складі АС.

Методика реалізації задач оптимізації управлінських рішень

Основні положення, які характеризують методику створення та реалізації задач оптимізації управлінських рішень в АС включають наступне [28]:

- *Провідна роль користувача.* Відповідальність за рішення з управління процесом перевезень несе користувач системи – управлінець. Згідно з цим інформаційна система повинна лише пропонувати певні варіанти рішення (інформаційно-радний режим). Остаточний вибір здійснює саме користувач, спираючись на детальну інформацію системи та її рекомендації.

- *Інтерактивність.* Користувачеві необхідно надати можливість не тільки оцінювати запропоновані варіанти управління, а й активно використовувати систему як інструмент в ході формуванні рішення. Це дозволить врахувати наявні особливості тактики управління (наприклад, пріоритетність пропуску певних поїздів).

- *Онлайновість.* Задачі оптимізації мають вирішуватись виходячи з поточного стану об'єкту оптимізації, на підставі інформації, що одержуватись в режимі реального часу від інформаційної системи АСК ВП УЗ-Є.

- *Повнота врахування очікуваного впливу управління на показники перевезень.* Критерієм оптимізації управлінських рішень має бути мінімізація витрат на перевезення при умові виконання всіх технологічних обмежень. Однак при цьому необхідно контролювати очікуваний вплив управління на експлуатаційні

показники використання парків ТС.

– *Апробація наслідків управління на імітаційних моделях.* Інструментом прогнозування наслідків альтернативних управлінських рішень мають стати імітаційні моделі, які більш повно (порівняно з математичними оптимізаційними моделями) враховують особливості динаміки процесу перевезень в умовах конкретних об'єктів, а також дозволяють одержати оцінки експлуатаційних показників процесу.

Виходячи з цих положень, необхідно створити спільний програмний механізм для використання різних задач оптимізації.

Методика рішення задач оптимізації управлінських рішень, що пропонується, включає три наступні етапи:

- визначення умов оптимізації та альтернативних варіантів управлінського рішення;
- оцінка та ранжирування варіантів рішення з використанням математичних моделей;
- прогнозування наслідків управління з використанням імітаційних моделей і остаточний вибір управлінського рішення.

Нижче наводиться розгорнута характеристика кожного з таких етапів. Загальну картину відображує рис. 2.7.

Визначення умов оптимізації та альтернативних варіантів управлінського рішення. До вихідних умов оптимізації належать, метод оптимізації, що використовується, а також параметри оптимізації, які мають враховувати поточну тактику управління та обмеження.

Задача, об'єкт та метод оптимізації що використовується, визначаються користувачем. Відносно їх завдання в АС необхідно зауважити наступне:

- задача оптимізації обирається із списку сервісів, що доступні користувачу згідно його посадової компетенції;
- об'єкт оптимізації відповідно до задачі, як правило, визначається посадою користувача. Наприклад, типовим для диспетчера є вибір керованого ним полігону; можлива також локалізація об'єкту в межах цього полігону (напри-

клад, задача може вирішуватись відносно конкретної станції);

– в межах рішення однієї задачі можливе використання альтернативних методів оптимізації, застосування яких визначається користувачем відповідно до конкретної ситуації згідно з його власним досвідом попереднього використання цих методів.

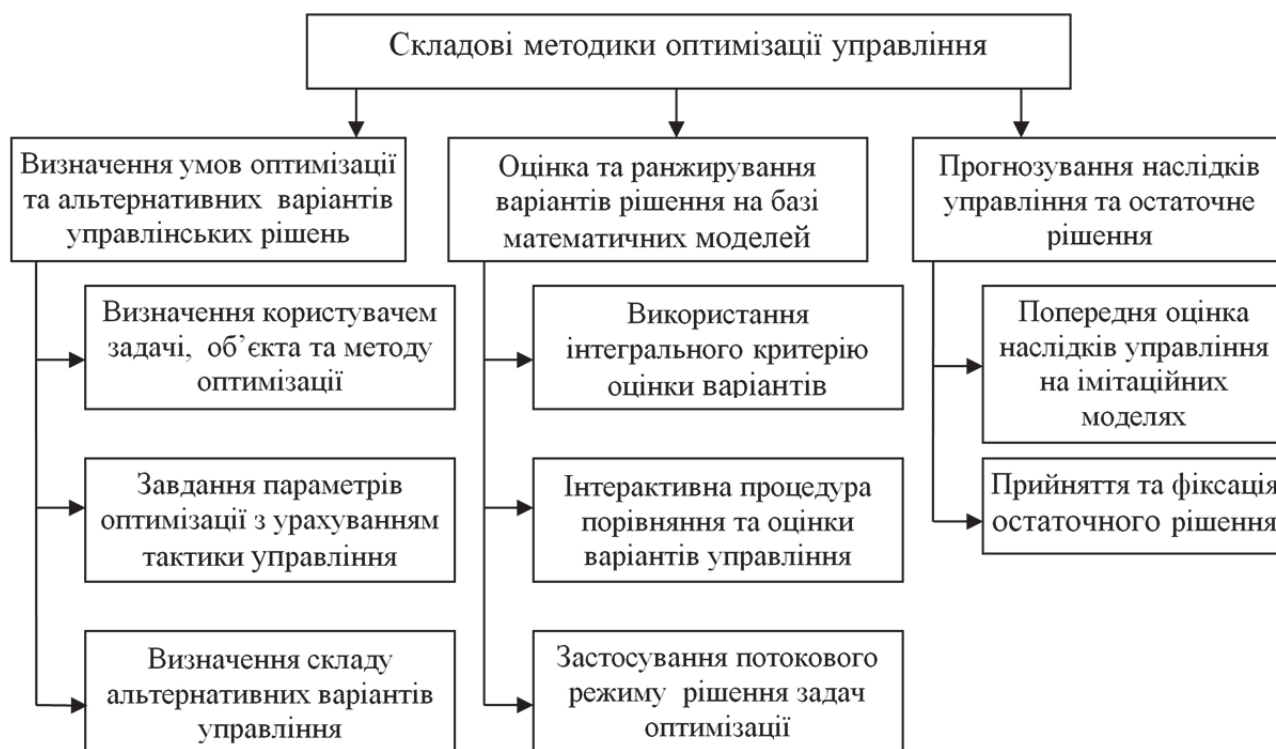


Рис. 2.7 До характеристики методики оптимізації управлінських рішень

Параметри оптимізації мають відображувати пріоритети, які визначаються тактикою управління в конкретній ситуації. Наприклад, це може стосуватись пріоритетності перевезення певних вантажів. Такі параметри задаються користувачем.

Варіанти управлінських рішень у відповідності із задачею, можуть включати:

- рішення відносно одиничної події (наприклад, визначення напрямку слідування поїзда в межах конкретного полігона);
- план, що включає послідовність подій (наприклад, послідовність при-

йняття составів з парку прибуття сортувальної системи для розформування).

Множина альтернативних варіантів управлінського рішення автоматично визначається сукупністю технологічних обмежень, яким ці рішення мають відповідати. Склад варіантів може бути скорегований користувачем на основі його досвіду та володіння всіма особливостями конкретної ситуації управління.

Оцінка варіантів рішення з використанням математичних моделей

Метою такого етапу є вибір найбільш ефективних варіантів управління, із яких надалі обирається остаточне рішення або план. Виходячи з положень, які наведені в підрозділі 2.2.4, сформулюємо основні вимоги до відповідного механізму:

– *Базою для порівняння альтернативних варіантів користувачем має бути інтегральний кількісний критерій.* Найбільш прийнятним таким критерієм є еквівалент суми очікуваних витрат на перевезення. Вочевидь, розрахунок такого еквіваленту повинен враховувати «вагу» різних складових, оцінка яких може бути тільки умовною. Доречно передбачати оперативне корегування цих пропорцій у відповідності з особливостями поточної тактики управління (наприклад, з урахуванням пріоритетності перевезень певних вантажів).

– *Процедура порівняння та оцінки варіантів управління користувачем має бути інтерактивною.* В рамках такої процедури користувачеві повинні надаватись відомості про всі суттєві аспекти ситуації управління (за результатами запитів відповідних даних АСК ВП УЗ-Є в режимі online). Крім того, доречно забезпечити інтерактивний аналіз впливу параметрів оптимізації (наприклад, пріоритетності певних перевезень) на оцінки критерію ефективності варіантів.

– *Для досить поширеного класу задач доречно застосування потокового режиму їх рішення.* Прикладом такого підходу є задачі поточного планування перевезень. Оперативна інформація про зміни в поточній ситуації дозволяє уточнювати прогнозовані вихідні дані оптимізації і дає підстави для корегування плану. З часом склад подій, для яких виконується планування, постійно змінюється: по відношенню до подій, що настають, приймаються остаточні управлінські рішення, з іншого боку наступні події попадають в інтервал планування.

Таким чином оптимізація плану в реальному часі враховує дані про зміни реальної ситуації, які можуть надходити в АСК ВП УЗ-Є.

Одержання оцінок показників ефективності для різних варіантів управління (з урахуванням як рівню інтегрального критерію, так і всіх суттєвих супутніх характеристик ситуації) дозволяє користувачеві на базі їх аналізу або остаточно обрати кращий варіант, або відібрати незначну кількість найбільш конкурентоспроможних варіантів для їх оцінки з використанням відповідної імітаційної моделі.

Апробація управлінських рішень з використанням імітаційних моделей

Остаточний вибір управління може спиратись на результати модельного експерименту з використанням відповідної імітаційної моделі [78]. Такий підхід дозволяє одержати наступні додаткові переваги:

- більш точно порівняти одібрані варіанти управління з урахуванням конкретних особливостей об'єкту;
- одержати кількісні оцінки не тільки інтегрального критерію ефективності, а й експлуатаційних показників;
- виконати прогноз наслідків управлінського рішення, що приймається.

Однак, використання імітаційного моделювання для підтримки оптимізації управління обмежується рядом факторів:

- створення імітаційних моделей має високу трудомісткість, отже сфера їх використання може бути обмеженою. Це буде особливо сильно відчуватись на перших етапах використання АС оскільки створення імітаційної підсистеми не є першочерговою задачею;
- для одержання потрібної статистичної достовірності результатів імітаційних експериментів може знадобитись час, який в умовах оперативного управління може виявитись занадто великим.

Останнє обмеження можна суттєво послабити, якщо використовувати імітаційне моделювання не за запитом користувача, а в фоновому режимі. Такий спосіб є найбільш придатним зокрема для потокових задач. Однак, імітаційне моделювання в фоновому режимі потребує значних обчислювальних ресурсів і

тому його слід використовувати обмежено – в першу чергу для обслуговування найбільш важливих задач.

Незалежно від того, прийнято остаточне управлінське рішення з використанням імітаційного моделювання, тільки на основі рекомендацій оптимізаційних моделей або виключно на базі досвіду користувача, необхідно передбачати його фіксацію в АС.

Статистичний аналіз рішень, що приймаються, а також їх відмінностей від рекомендацій оптимізаційних задач, має стати підставою для корегування використовуваних моделей, а певною мірою й для оцінки ефективності дій персоналу. При цьому розробку забезпечення контролю та оцінки ефективності управління доцільно виконувати на останніх етапах створення АС.

2.2.5. Методика оцінки очікуваних наслідків управління парками технічних систем

Щоб оцінити наслідки управлінських рішень, які приймаються або суто на експертному рівні, або з використанням математичної оптимізації, необхідно «зазирнути в майбутнє» технологічного процесу. Відповідним інструментом має бути модель, яка досить повно відображує логіку розвитку процесу, а також особливості конкретного технологічного об'єкту. Найбільш повно таким вимогам відповідає клас імітаційних моделей. Виходячи з цього розглянемо методику використання в АС апарату імітаційного моделювання.

Підходи до вирішення задач оцінки наслідків управління в АС на базі імітаційного моделювання. Як відомо, імітаційне моделювання є різновидністю математичного моделювання. Його відрізняють наступні особливості [78, 53]:

- структура моделі здебільшого відповідає структурі модельованого об'єкту;
- закони поведінки моделі можуть описуватись досить складними алгоритмами з розвиненою логікою;
- при моделюванні активно використовуються експериментальні дані.

Інакше говорячи, імітаційні моделі (ІМ) здебільшого описують об'єкт та його функції «як вони є». Такий підхід, по-перше, дозволяє досить повно відобразити реальне функціонування об'єкту, по-друге відображає об'єкт наочно (останнє повною мірою підтримується широкими графічними можливостями сучасних комп'ютерів).

Імітаційна модель дозволяє одержати оцінки повного набору натуральних показників ефективності, а також оцінки економічних показників. При цьому методом оцінювання є прямий модельний експеримент, коли хід технологічного процесу багатократно відтворюється для різних варіантів збігу випадкових факторів.

Ще одна унікальна особливість ІМ порівняно з іншими класами математичних моделей – їх логічна завершеність та повна прозорість. Під цим розуміється, що ІМ містять алгоритмічне описання поведінки системи на всіх рівнях, включаючи рівень управління, тоді як більшість математичних моделей інших класів ідентифікують закономірності поведінки об'єкту лише з огляду на попередні результати (що, як правило, не відображує в достатній мірі саме дію системи управління).

Платою за повноту відображення особливостей технології стає досить висока обчислювальна трудомісткість одержання надійних кількісних оцінок показників технологічного процесу. Ще більш гостра проблема – висока трудомісткість розробки ІМ та їх адаптації до конкретних технологічних об'єктів. Однак, відповідні затрати безумовно стають виправданими, якщо створені імітаційні моделі дійсно адекватні задачам аналізу модельованих процесів і дозволяють з необхідною достовірністю прогнозувати наслідки управління.

Специфіка складних технологічних процесів експлуатації парків ТС визначає особливості застосування ІМ. Тут ми виділимо характерні особливості використання ІМ в АС з огляду на технологію вантажних перевезень та роль аналітичних серверів в загальній системі управління.

Напрямки застосування. Найбільш ефективне використання ІМ пов'язане в першу чергу з прогнозуванням розвитку технологічного процесу в конкрет-

них умовах. При цьому мета моделювання може полягати або в прогнозуванні динаміки процесу на певний період (див. підрозділ 2.2.2), або в оцінюванні ефективності конкретної стратегії управління (наприклад, такої, що знайдена на базі математичних оптимізаційних моделей – підрозділ 2.2.4). Очевидно, що розбіжності підходах до моделювання не є принциповими – різняться тільки модельовані алгоритми та параметри управління.

Платформа моделювання. Як відомо, будь-яка модель відображує об'єкт моделювання з позицій конкретної задачі, що вирішується. Навіть, якщо модель є досить універсальною, з її допомогою можна вирішувати лише обмежене коло задач певного типу. Отже, відповідно задачам АС, тут має використовуватись досить широке коло ІМ. В цих умовах досить очевидна доцільність створення в АС спільної платформи моделювання, яка має забезпечити спільні функції імітаційних моделей (наприклад, механізм імітації дискретних послідовностей подій, автоматизацію модельних експериментів, відображення результатів моделювання тощо). Методика створення такої платформи буде описана в підрозділі 2.2.5.

Створення та впровадження моделей. ІМ в складі АС має виконуватись по відношенню до великої кількості конкретних об'єктів, які належать до одного класу, але різняться на рівні структури та характеристик. Так імітаційна модель процесу перевезень в межах диспетчерської дільниці для конкретного використання має бути адаптована до десятків і сотень дільниць з їх індивідуальними характеристиками. Тож необхідно передбачати створення узагальненої типової моделі, що відповідає певній групі задач, а на наступному етапі – налагодження та впровадження її версій, які адаптовані під конкретні технологічні об'єкти. Методика створення моделей у відповідності з таким підходом буде описана в підрозділі 2.2.6.

Організація використання ІМ. Використання ІМ в складі АС має ряд суттєвих особливостей, які пов'язані з режимом роботи користувачів та використанням даних АСК ВП УЗ-Є. Зокрема, моделюючи програми мають бути доступні в реальному часі широкому колу користувачів (згідно з їх посадовою

компетенцією). Можливе використання імітаційними моделями в режимі реального часу даних з інформаційної бази АСК ВП УЗ-Є. Моделювання динаміки технологічного процесу може виконуватись за запитом користувачів чи в фоновому режимі тощо. Методика організації використання ІМ в АС буде описана в підрозділі 2.2.7.

Засади методики використання ІМ в складі АС, які включають згадані вище етапи створення спільної платформи імітаційного моделювання, створення та впровадження моделей та організацію їх використання в процесі управління, відображує рис. 2.8.



Рис. 2.8 До характеристики імітаційного моделювання в складі АС

Методика створення платформи імітаційного моделювання в АС

Парадигми моделювання. Більшість задач моделювання процесу перевезень належать до дискретного моделювання. Тут модельовані процеси інтерпретуються як послідовностей подій, що відбуваються з об'єктами. Відповідно, спільний механізм відтворення таких процесів, має бути реалізований максима-

льно ефективно та надійно. Разом з тим доцільно передбачати моделювання динаміки слідування поїздів. Такі задачі спираються на рішення рівнянь руху поїзда і, разом з тим, враховують дискретні події (наприклад, зміни станів пристроїв сигналізації). Відповідний спосіб прийнято називати гібридним моделюванням. Таким чином, доцільно передбачати реалізацію на платформі АС різних механізмів (різних парадигм) – дискретного та гібридного моделювання.

Засоби створення моделей. Платформа ІМ має містити досить розвинений інструментарій для створення нових моделей: засоби автоматизації створення моделей у відповідності принципам об'єктно-орієнтованого програмування, конструювання моделей з використанням типових або створюваних модулів, засоби графічного конструювання, а також безпосереднього застосування об'єктно-орієнтованої мови програмування для описання фрагментів моделі тощо. Згідно з принципом створення базових моделей, які потім адаптуються до конкретних особливостей технологічних об'єктів, платформа моделювання має реалізовувати механізм такої адаптації на рівні налагодження параметрів.

Підтримка роботи користувачів. Платформа моделювання повинна забезпечити автоматизацію модельних експериментів: відповідність вимогам до точності і надійності одержуваних кількісних оцінок, збереження результатів експериментів та зручний доступ до них, апроксимацію одержаних оцінок математичними залежностями для їх подальшого аналізу представлення результатів моделювання в цифровій та в графічній формі тощо. Разом з тим спільна платформа ІМ має також забезпечити механізм регламентованого доступу до моделюючих програм в процесі їх використання. Тобто, користувачі повинні одержати можливість в будь-який момент звернутись до виділеного їм (згідно з їх посадовою компетенцією) сегменту спільного банку імітаційних моделей.

Підходи до реалізації платформи ІМ в АС. Досить очевидно, що створення програмного комплексу, який відповідає усім означеним вище вимогам – складна задача, яку непросто вирішити в стислі строки. За цих умов доцільно розглянути можливість використання для реалізації частини означених функцій можливості однієї з універсальних системи імітаційного моделювання, які нині

широко пропонуються на ринку програмних продуктів.

Огляд систем моделювання дозволяє зробити висновок, що багато програм цього класу забезпечує підтримку створення імітаційних моделей в рамках однієї парадигми моделювання. Огляд виявив лише один продукт, який підтримує одночасно різні парадигми ІМ (зокрема, дискретне та гібридне моделювання) – систему AnyLogic [41]. Аналіз можливостей системи AnyLogic підтверджує, що вона може бути використана для ефективної підтримки створення ІМ в АС. Зокрема, система дозволяє створювати моделі у вигляді Java-коду, який може бути розміщений на веб-сайті і, таким чином, доступний для широкого кола користувачів. Вона також містить широкий арсенал засобів розробки моделей: опис структури, поведінки та даних модельованої системи – об'єкти, інтерфейси, блочні діаграми та діаграми станів, таймери, порти, змінні та алгебро-діференціальні рівняння, можливість додавати оператори, функції та бібліотеки на мові програмування Java тощо.

Не обмежуючи можливості вибору конкретної системи моделювання, підкреслимо, що наведені відомості підтверджують: використання продукту такого класу для рішення задач АС може бути корисним. Разом з цим, використання універсальної системи моделювання не вирішує всіх задач платформи ІМ. Так, функції системи моделювання, які забезпечують підтримку користувачів, реалізуються в складі програмної оболонки продукту і не можуть бути використані безпосередньо в АС.

Таким чином, ряд функцій підсистеми імітаційного моделювання мають бути реалізовані в рамках програмної розробки аналітичних серверів. Сюди належать:

- підтримка інтерактивного налагодження версій базових імітаційних моделей, що відображують характеристики конкретних об'єктів;
- механізм завдання вихідних даних моделювання користувачем, а також механізм одержання вихідних даних моделювання, що відображують реальну ситуацію управління, від системи АС ВП УЗ-Є;
- організація модельних експериментів (зокрема, забезпечення необхід-

ної статистичної достовірності одержуваних результатів моделювання);

- аналітична апроксимація та графічне відображення результатів модельних експериментів;
- механізм збереження та подальшого аналізу результатів модельних експериментів.

Реалізація усіх цих функцій складає досить масштабний програмний проєкт, який має бути оформлений як окрема підсистема АС. Його розробку доцільно виконувати паралельно із створенням прикладних імітаційних моделей.

2.2.6. Методика створення та впровадження імітаційних моделей в аналітичних серверах

Етапи створення ІМ в АС. Згідно з виділеними особливостями застосування імітаційного моделювання в складі АС, доцільно виділити наступні етапи розробки та впровадження ІМ:

- розробка базового варіанту моделі для вирішення конкретної задачі або групи задач. В рамках цього етапу створюється концептуальна модель, виконується її формалізація та програмна реалізація в середовищі універсальної системи моделювання. Також на АС програмно реалізується механізм адаптації моделі до конкретних технологічних об'єктів;
- створення та впровадження адаптованих версій моделі для конкретних об'єктів. На цьому етапі за участю експертів, які досконально володіють технологією модельованого об'єкта, виконується адаптація базового варіанта на рівні параметрів налагодження, а також оцінка адекватності та корегування моделі з урахуванням індивідуальних особливостей об'єкту. Також створюється і адаптується до конкретних об'єктів відповідне методичне забезпечення.

Методика створення базових ІМ. Згідно із стандартною методикою створення ІМ, реалізація базових моделей повинна включати:

- створення концептуальної моделі – повного текстового описання, в якому виділені та обґрунтовані всі основні припущення, що приймаються при моделюванні;

- формалізацію моделі, яка повинна включати виділення усіх типів подій модельованого процесу та алгоритмічне описання поведінки об'єкта на усіх його рівнях;

- програмну реалізацію моделі в певному середовищі;
- попередню оцінку адекватності моделі.

З урахуванням особливостей ІМ в складі АС необхідно виділити додаткові вимоги до цих етапів.

Створення концептуальної моделі виконується на базі аналізу типової технології для модельованих об'єктів за участю досвідчених фахівців-технологів. Доцільно уже на цьому етапі паралельно вивчати та враховувати особливості технології об'єкту який має бути пілотним при впровадженні моделі.

При створенні концептуальної моделі та її подальшої формалізації (алгоритмізації) доцільно виділяти та відокремлювати рівні моделювання, які відображують:

- інфраструктуру модельованого технологічного об'єкта;
- рух та зміну фізичних станів рухомих об'єктів;
- відображення стану об'єктів інформаційними системами (включаючи обладнання сигналізації);
- систему управління технологічним процесом (включаючи типові дії персоналу).

Програмну реалізацію моделі доцільно виконувати в середовищі системи ІМ таким чином, щоб програмний код, який одержується, міг бути використаний безпосередньо в складі АС. При цьому необхідно окремо виділяти параметри, які відрізняють об'єкти даного типу, та забезпечувати їх описання відокремленими структурами даних, чий зміст доступний для редагування в середовищі АС.

Попередня оцінка адекватності може виконуватись експертним методом за даними модельних експериментів відносно типової технології об'єкту.

Методика адаптації та впровадження ІМ конкретних об'єктів. На цьому етапі мають бути забезпечені:

- налагодження параметрів описання технологічного об'єкту в середовищі АС згідно з технологічною документацією;
- оцінка за результатами моделювання адекватності моделі відносно показників технологічного процесу на конкретному об'єкті;
- імовірне корегування та доповнення алгоритмів моделювання з урахуванням індивідуальних особливостей технології різних об'єктів даного класу;
- створення та адаптація методичних матеріалів по використанню моделі персоналом.

Усі ці дії доцільно виконувати за участю експертів, які володіють знаннями про особливості індивідуального технологічного процесу на об'єкті. На останньому етапі (при створенні інструкції з використання моделі) доцільна також активна участь власно користувачів.

Доцільно виділити етап створення пілотного варіанту ІМ для конкретного об'єкту впровадження. На цьому етапі має бути виконана більша частина роботи з корегування моделі та створення методики її використання. Саме тут потрібна найбільш тісна та продуктивна взаємодія розробників фахівців-технологів та розробників АС. Надалі із впровадженням для все більшої кількості об'єктів трудомісткість адаптації моделі має скорочуватись.

2.2.7. Методика використання імітаційних моделей в аналітичних серверах

Надання сервісів імітаційного моделювання користувачам. Користувачі АС згідно з їх посадовою компетенцією можуть одержувати доступ до конкретної ІМ за двома параметрами: тип задачі (визначає базову модель та режим її використання згідно з конкретною задачею) і об'єкт аналізу (визначає версію моделі, що адаптована до конкретного технологічного об'єкту).

Згідно з параметрами звернення підсистема ІМ надає користувачеві сеанс сервісу імітаційного моделювання. Одна і та сама модель може використовуватись паралельно в рамках кількох сеансів різними користувачами. Надання сеансів ІМ може регламентуватись в залежності від загальної завантаженості сис-

теми та пріоритету користувачів.

Характеристики сеансу визначаються параметрами вихідних даних моделювання, які обираються користувачем. При цьому мають використовуватись шаблони вихідних даних, чий зміст корегується відповідно до поточної ситуації (наприклад, при моделюванні процесу перевезень на заданому полігоні визначається період дії попереджень про обмеження швидкості руху на певних ділянках).

Завдання параметрів моделювання має стосуватись стратегій управління, які визначаються типовими алгоритмами дій персоналу чи системи автоматизації управління (наприклад, алгоритмами оптимізації, що використовуються), а також параметрами цих алгоритмів (наприклад, тими, що визначають, пріоритетність перевезень певних вантажів в поточний період).

Одним із типів параметрів, які задаються користувачем, мають бути вимоги до точності та надійності одержуваних оцінок (які водночас визначають обчислювальну трудомісткість модельних експериментів).

Форма надання результатів моделювання повинна відповідати наступним вимогам: бути інтерактивною (тобто дозволяти одержувати додаткові дані щодо деталізації, порівняння або узагальнення відомостей, що відображені) та допускати ілюстрування даних діаграмами за вибором користувача. Доцільно використовувати для представлення та аналізу даних ІМ ті самі засоби, які описані в підрозділі 2.2.1.

При визначенні характеристик сеансу визначаються також режими імітаційного моделювання.

Забезпечення необхідної статистичної достовірності результатів ІМ. Як відомо, оцінки характеристик випадкових процесів на базі імітаційного моделювання (рівно як і за натурними експериментами), одержуються з використанням методів математичної статистики. При цьому достовірність оцінок безпосередньо залежить від об'єму статистичної вибірки, яка одержується в експерименті. З іншого боку, збільшення кількості модельних експериментів (а разом з тим і достовірності одержаних результатів), потребує додаткових ресурсів і

збільшує потрібний час моделювання. В цих умовах важливо забезпечити планування експерименту виходячи з необхідного рівня достовірності і з урахуванням обмеженості ресурсів.

Математичний апарат, який бути використаний для рішення такої задачі спирається на припущення, що згідно з так званим «законом великих чисел», змінна, на яку впливає велика кількість випадкових факторів, має гаусів (нормальний) закон розподілу щільності. Методика що пропонується, спирається на відомий математичний апарат для оцінки статистичної достовірності [11] і водночас є інтерактивною. Останнє дозволяє користувачеві контролювати хід експериментів та гнучко встановлювати компроміс між точністю та потрібним часом моделювання.

Така методика втілюється в наступному алгоритмі:

– Виходячи з особливостей модельованого технологічного процесу, досвіду користувача та поточної ситуації управління, користувачем визначаються контрольовані параметри y_i та відповідні вимоги до статистичної достовірності їх оцінки. Така достовірність для кожного параметру характеризується парою змінних D_i та p_{di} (відповідно – ширина так званого «інтервалу довіри», в який має влучити істинне значення i -го параметру відносно його статистичної оцінки $\hat{y}_i$, та «вірогідність довіри», з якою таке влучення має відбутись).

– На кожному k -му модельному експерименті одержується оцінка $\hat{y}_{ki}$ кожного з контрольованих параметрів та оцінка середньоквадратичного відхилення цих параметрів σ_{ki} , а також виконується розрахунок поточного розміру «інтервалу довіри» за відомим співвідношенням:

$$D_{ki} = t_a(p_{dki})\sigma_{ki} / \sqrt{k}, \quad (2.27)$$

де $t_a(p_{dki})$ – параметр, що табульований для гаусова розподілу вірогідностей (наприклад, для $p_d = 0,95$ значення $t_a = 1,96$, а для $p_d = 0,99$ відповідно $t_a = 2,58$).

- Динаміка оцінки контрольованих параметрів та відповідних інтервалів

довіри відображується для користувача. Повтори модельних експериментів закінчуються, коли для усіх контрольованих параметрів буде забезпечено заданий рівень достовірності або користувач припинить експеримент з огляду на поточний рівень достовірності та час моделювання.

Режими імітаційного моделювання. Режими імітаційного моделювання в складі АС мають задавати способи:

- виконання модельних експериментів (за запитом користувача або в фоновому режимі);
- завдання вихідних даних про поточний стан об'єкту (з використанням типових даних із певного набору шаблонів, або із одержанням поточних даних АСК ВП УЗ-Є).

Виконання модельних експериментів за запитом користувача мінімізує навантаження системи. Але в певних випадках може виявитись доцільним здійснювати моделювання постійно (в фоновому режимі виконання відповідних програм), щоб мінімізувати затримку одержання користувачем необхідних йому даних.

Використання реальних даних АСК ВП УЗ-Є. про стан модельованого об'єкту уявляється привабливою можливістю. Йдеться про дві категорії даних – тих, що описують поточний стан об'єкту (наприклад, дислокацію вагонів або локомотивів) і тих, що характеризують статистичні характеристики контрольованих технологічних процесів. В першому випадку одержання даних може виконуватись також за запитом (наприклад, автоматично в момент запуску сеансу моделювання) або в певному регламенті (зокрема, для забезпечення більшої керованості навантаження на АСК ВП УЗ-Є). В другому випадку можливі варіанти накопичення статистичних даних безпосередньо в середовищі АСК ВП УЗ-Є, або в середовищі АС (останнє уявляється більш доцільним з організаційної точки зору).

Загалом визначення оптимальних режимів ІМ потребує предметного аналізу і має виконуватись в процесі експлуатації АС.

ГЛАВА 3

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЄЮ ЛОКОМОТИВНИХ ПАРКІВ

3.1. Стан та напрямки удосконалення оперативного управління експлуатацією локомотивів

3.1.1. Завдання інтелектуальних методів оперативного управління експлуатацією локомотивних парків

Метою використання локомотивного парку є своєчасне забезпечення процесу перевезень ресурсами тягового рухомого складу (ТРС) і локомотивних бригад. Утримання цих ресурсів та відповідної інфраструктури потребує значних витрат. При цьому найбільш визначними є витрати, які пов'язані із забезпеченням перевезенням вантажних поїздів.

Ефективність використання ресурсів локомотивного господарства має забезпечуватись оперативно-диспетчерським персоналом, зокрема, в процесі оперативного планування і управління експлуатацією парку ТРС. Однак, рішення цієї задачі суттєво ускладнює ряд факторів, зокрема значна ступінь невизначеності процесів вантажних перевезень та напружений характер праці оперативно-диспетчерського персоналу. В результаті, мають місце значні додаткові витрати, зокрема, пов'язані із очікуванням локомотивів готовими складами, або, навпаки, складів локомотивами.

Важливою складовою технології управління локомотивним парком є використання сучасних автоматизованих систем управління. Зокрема, нині впроваджена інтегрована єдина автоматизована система керування вантажними перевезеннями на Укрзалізниці (АСК ВП УЗ-Є). Однак, до останнього часу розвиток її підсистем, які підтримують експлуатацію локомотивного парку, дещо відставав. До того ж АСК ВП УЗ-Є нині практично реалізований лише інформаційний режим, який передбачає надання персоналу лише відомостей про фактичний стан процесу перевезень.

В сучасних системах управління важливим фактором підвищення ефективності є інформаційна підтримка управлінських рішень персоналу. Нині існують технічні умови для реалізації такого підходу в технології управління вантажними перевезеннями, однак сьогодні цей важливий ресурс лишається не використаним. Реалізація таких функцій потребує рішення теоретичних задач з оптимізації управління експлуатацією парку ТРС і створення відповідних практичних методів інформаційної підтримки персоналу. Зокрема, використання інтелектуальних методів.

3.1.2. Стадії процесу оперативного управління

Загальною метою управління експлуатацією локомотивів є забезпечення своєчасного перевезення вантажів та пасажирів за умовою виконання технологічних обмежень та мінімізації витрат. Оперативне управління експлуатацією локомотивів (ОУЕЛ) забезпечується оперативно-диспетчерським персоналом і включає етапи оперативного планування та регулювання [36]. Воно виконується по відношенню до ділянки обертання локомотивів, яка визначається депо їх приписки і обмежується пунктами обертання [66, 71]. Таке планування повинно враховувати вимоги відповідних галузевих інструкцій щодо руху поїздів та роботи і відпочинку локомотивних бригад [37, 64].

Центральною задачею ОУЕЛ є призначення локомотивів в поїзди, яке найбільшою мірою визначає майбутні витрати ресурсів на виконання перевезень. Так, вибір варіанту призначення з урахуванням погодженості часу готовності локомотиву та складу, а також готовності поїзду і графіку його відправлення, може суттєво скоротити простой локомотиву і складу. Сучасна технологія ОУЕЛ включає декілька стадій [36, 66], які відрізняються задачами і відповідною глибиною планування. Дослідження показують, що етапом процесу ОУЕЛ, на якому головним чином визначається ефективність призначень локомотивів в поїзди, є короткочасне планування на 3-4 години (формування планів-завдань роботи локомотивів).

Базовим елементом складання планів-завдань на період короткочасного планування є оцінювання варіантів сполучень певних локомотивів із конкретними складами. Виходячи з мети управління, така оцінка повинна враховувати фактори, що суттєво впливають на очікувані витрати та на виконання технологічних обмежень (рис.3.1):

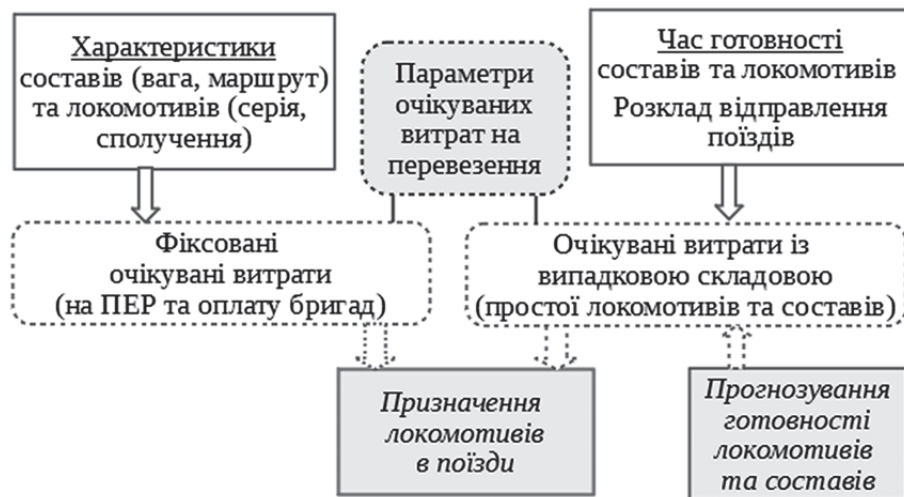


Рис. 3.1. Фактори оцінювання призначень локомотивів у поїзди

Серед перелічених факторів є ті, що повністю визначають очікувані витрати від перевезень при заданому сполученні локомотива і состава згідно існуючим нормативам, а також ті, що містять значну випадкову складову. До других належать витрати на простої локомотивів і составів внаслідок розбіжності часу їх готовності, а також внаслідок розбіжності моменту готовності поїзда та нитки графіку, якою він може бути відправлений.

Залежність між часом готовності локомотивів та составів і витратами на їх простої визначається також технологією відправлення поїздів [66, 68, 71]:

- при використанні відправлення по готовності очікувані витрати визначаються головним чином розбіжністю готовності локомотива та состава;
- при відправленні поїздів за графіком необхідно також враховувати простій готового поїзда в очікуванні відповідної «нитки» графіку.

Таким чином, технологія планування призначень має враховувати обидва типи витрат і, зокрема, має брати до уваги статистичну природу очікуваних витрат на простой.

3.1.3. Загальний огляд попередніх досліджень

Огляд напрямків досліджень, які рані виконувались в галузі управління експлуатацією локомотивів, наведений на рис.3.2.

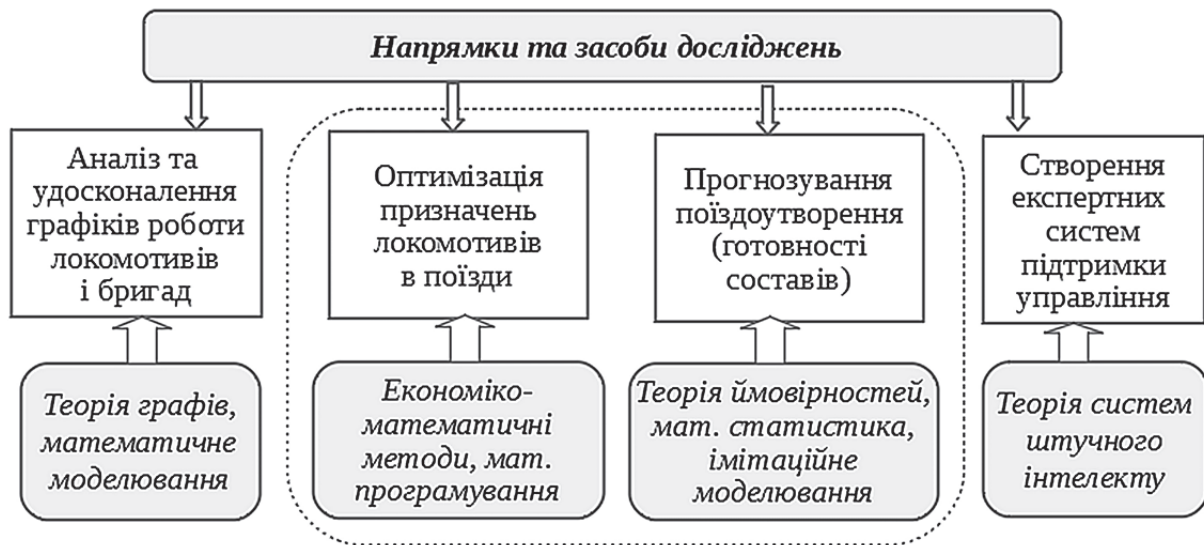


Рис. 3.2. Огляд напрямків попередніх досліджень

Історично першими в цій галузі були наукові роботи, в яких розглядались питання аналізу та удосконалення графіку використання локомотивів і локомотивних бригад за рахунок автоматизації планування. Тут доречно згадати роботи З.З.Ладигіної [49], Н.Д. Крюкова [48], С.В.Дуваляна [24], (ВНДІЗТ), С. Я. Айзинбуда [1] (РПЗТ), Е. А. Мірзахмедова та В.І.Соловйова [58] (ДІТ), Д.В.Максимова [57] (ВНДІЗТ).

Суттєвий внесок в теорію і практику автоматизації планування роботи локомотивів та бригад внесли Ю.А.Муха та С.І.Нестеренко (ДІТ), зокрема своїми роботами [61, 62, 63, 72]. На підставі цих досліджень була створена Автоматизована система планування роботи локомотивних бригад, яка протягом до-

вгого часу успішно використовувалась на Придніпровській та інших залізницях.

Переважна частина означених робіт присвячені удосконаленню довгострокового планування, де доречний детермінований підхід. Найбільш повного розвитку і комплексності подібний підхід набув у роботах В. І. Некрашевича [65, 66, 67, 69, 70, 71] та його школи (зокрема, А. І. Моргунова, [59, 60, 69], В.І. Апатцева [71], В. Н. Ковальова та В. Л. Сальченко [65, 67, 70]). Зокрема, тут він використовується також для рішення задач оперативного планування роботи локомотивів.

Принципово інший підхід до управління роботою локомотивів і бригад розвивався в роботах Т.Н.Новожилової, які виконані під науковим керівництвом В.А.Кедруса (зокрема [42, 43, 73]). Тут використовувався спектр методів, що включає теорію систем штучного інтелекту, систем масового обслуговування, теорію фреймів тощо. Слід відзначити, що такий підхід зорієнтований перш за все на оперативне управління перевезеннями і є досить узагальненим. Практичним результатом при цьому є створення експертної системи, яка здатна рекомендувати диспетчеру рішення з банку знань, що сформований раніше. Однак, слід зауважити, що досвід диспетчерів щодо врахування економічності призначень суто обмежений.

Найбільш повно економічний підхід до оптимізації планування призначень локомотивів до складу вантажних поїздів розкритий в роботах В.І. Моргунова [59, 60, 69]. Тут запропоновано використовувати для оптимізації призначень локомотивів в поїзди відому модель математичного програмування - «задачу про призначення». Ця задача розглядає оптимальне розподілення n узагальнених «виконавців» (локомотив) до виконання m «робіт» (транспортування составів) за критерієм мінімуму витрат. Такий підхід використовується для оптимізації призначень локомотивів в складі технології комплексного оперативного планування роботи локомотивів вантажного руху в умовах автоматизації [59]. Його привабливість зумовлена перш за все використанням економічного

критерію оптимізації планування. До того ж він є найбільш повним та розвиненим серед запропонованих рані.

Як було показано в 3.1, формування плану призначень має спиратись на прогнозування готовності локомотивів та составів до виконання перевезень. Задачі прогнозування поїздоутворення присвячені зокрема робот Т.В.Бутько та Т.Ю.Калашнікової [18, 40], М.І. Луханіна та В.С.Селецького [54, 55], О.Е.Олександрова, В.Ю. Пермікіна та І.О.Ковальова [7, 8, 9], В.С.Цісельського [89]. Найбільш поширений метод прогнозування, який тут розглядається - імітаційне моделювання накопичення составів на сортувальних станціях з урахуванням статистичної складової. Такий метод дозволяє досить адекватно моделювати майбутню динаміку накопичення составів з урахуванням складу поїздів, які знаходяться на підходах. Він може бути використаний для прогнозування готовності составів в межах задачі планування призначень. Разом з тим, роботи з питань прогнозування готовності локомотивів, які обслуговуються на станції та в депо, не виявлені.

Статистичний підхід до планування призначень локомотивів в поїзди на основі двокритеріальної задачі нечіткого лінійного дискретного програмування запропоновано в роботі В.В. Скалозуба та О.В. Ветрової [89], а також в роботах [29]. Однак виявилось, що використання багатокритеріального підходу дає досить громіздкі рішення і це ускладнює його практичне застосування. В зв'язку з цим надалі зосередимось на підходах, які передбачають використання єдиного критерію оптимальності рішення про призначення локомотиву до складу поїзда.

Методика рішення задачі оперативного планування експлуатації локомотивів вантажного руху на базі детермінованого підходу, яка запропонована і обґрунтована в [60, 69], характеризується наступним:

- процес оперативного планування розглядається як низка стадій, що пов'язані між собою [69]. При цьому використовується підхід послідовної мінімізації кількості варіантів плану, коли спочатку визначається оптимальний до-

бовий план, потім за рахунок його деталізації - поточний і, наприкінці, - оптимальний план-завдання на 3-4 години (рис. 3.3);

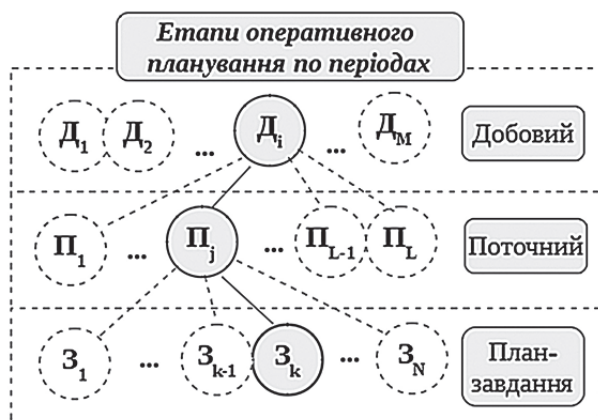


Рис. 3.3. Схема вибору варіанта плану призначень локомотивів

- на кожному з етапів використовується математична модель «задачі про призначення», де в якості «робіт» виступають состави, а «виконавцями» є локомотиви. Для кожної пари «і-й состав» - «j-й локомотив» визначені очікувані витрати C_{ij} на перевезення і задача полягає у знаходженні такої множини пар (плану призначень), для якої сумарні витрати є мінімальними (рис.3.4);

		«Роботи» (состави)					
«Виконавці» (локомотиви)		1	2	...	j	...	m
	1	$C_{1,1}$	$C_{1,2}$		$C_{1,j}$		$C_{1,m}$
	2	$C_{2,1}$	$C_{2,2}$		$C_{2,j}$		$C_{2,m}$
	...						
	i	$C_{i,1}$	$C_{i,2}$		$C_{i,j}$		$C_{i,m}$
	...						
	n	$C_{n,1}$	$C_{n,2}$		$C_{n,j}$		$C_{n,m}$

Рис. 3.4. Використання моделі «задачі про призначення» при плануванні роботи локомотивів

- до складу витрат на перевезення згідно [69] включаються «лише змінні групи витрат, ... які пов'язані з простоями локомотивів по пунктах обороту, резервними пробігами і виконанням технічного обслуговування ТО-2, а також ті, що пов'язані з додатковими простоями готових составів поїздів внаслідок несвоєчасної видачі локомотивів для їх вивозу»;

- для оцінки витрат виконується моделювання перевезень згідно існуючого нормативного графіку;

- важливим елементом методики (особливо на стадіях добового та поточного планування) є визначення завдань на попередню пересилку локомотивів зі станцій їх потенційного надлишку на станції нестачі (в [69] для цих дій використовується термін «регулювання»). Зокрема, для визначення відповідних «регулювальних завдань» використовується додатковий критерій підтримки на всіх станціях певної гарантованої мінімальної кількості локомотивів.

За даними [59] така методика практично втілена в Автоматизованій системі комплексного планування роботи локомотивів вантажного руху (АСКПРЛ).

Окремо слід зупинитись на методиці знаходження оптимального плану в «задачі про призначення». Відома досить велика кількість методів рішення цієї задачі, серед яких найбільш популярними є «угорський» метод (алгоритм Куна) та метод Мака [12]. Використовуються також алгоритми Гольдберга-Тарьяна, Басакера-Гоуена, та інші [103]. В [60] запропоновано вирішувати задачу про призначення локомотивів з використанням модифікації метода Мака, яка за даними досліджень автора забезпечує підвищення продуктивності рішення приблизно вдвічі. Разом з тим, більш широкі дослідження [60], в яких порівнювалась продуктивність різних відомих методів рішення цієї задачі, указують на найбільшу ефективність метода Куна («угорського»).

Аналіз рішення, яке тут охарактеризоване, підтверджує, що воно є дійсно повним і комплексним, оскільки враховує велику кількість параметрів об'єкту моделювання. Однак, з позицій аналізу технології оперативного планування

експлуатації локомотивів, який наведений в підрозділі 1.1, описана методика має ряд принципових недоліків та обмежень, а саме:

- детермінований підхід до складання плану призначень принципово не враховує зміни очікуваних витрат на перевезення. Так, витрати $C_{i,j}$ (рис.1.6) згідно з запропонованим методом не залежать від часу, коли повинне відбутись призначення. Між тим, очікувані витрати від додаткового простою локомотивів та составів вочевидь залежать від точності, а втім – і від глибини прогнозування моментів їх готовності;

- цей підхід також принципово суперечить динамічній природі процесу вантажних перевезень. Так, формування короткочасного плану на основі оптимальних варіантів поточного та змінно-добового планів (рис.1.5) втрачає сенс в умовах, коли ситуація управління суттєво змінюється по відношенню до передбаченої;

- із розрахунків виключені такі важливі складові витрат, як вартість паливно-енергетичних ресурсів та заробітної плати бригад.

Все це дає підстави для висновку, що рішення, яке запропоноване в [60, 69], не в достатній мірі відображує суттєві особливості технології оперативного управління експлуатацією локомотивів вантажного руху. Актуальною є розробка метода, який би розвинув цей підхід в напрямку застосування статистичних методів оптимізації та більш повного врахування складових витрат на перевезення. Необхідним елементом такого підходу повинно бути статистичне прогнозування готовності составів та локомотивів до виконання перевезень.

3.1.4. Вибір напрямків подальших досліджень

Виходячи з аналізу, який наведений вище, головними напрямками подальших досліджень повинні стати:

- *створення та обґрунтування засобів оптимізації призначень локомотивів в поїзди на основі економічного критерію, який би враховував статистичну природу важливих складових очікуваних витрат на перевезення та динамічний характер процесу вантажних перевезень. Тут доцільно використати основу,*

яка запропонована в [60,69] і передбачає застосування математичної моделі «задачі про призначення»;

- *розробка та дослідження засобів статистичного прогнозування готовності об'єктів перевезень.* При тому доцільно зосередитись на прогнозуванні готовності локомотивів, передбачаючи можливість використання рані створених методів прогнозування поїздуутворення.

Щодо методу оптимізації призначень локомотивів в поїзди, тут виділяються дві складових:

- математична модель для оцінки ефективності призначення з використанням статистичного підходу;
- власно метод оптимізації планування, який використовує таку модель і дозволяє одержати план (або сценарій) призначення локомотивів в поїзди виходячи з конкретних даних про їх поточний стан.

При створенні математичної моделі доречно використання методів статистичної оптимізації, які пристосовані для управління в умовах неповної інформації [10, 14, 15, 99, 83, 104]. Зокрема, в теорії статистичних рішень широко використовується показник ризику, який визначається як середньостатистичні витрати, очікувані в певних обставинах управління [15, 83, 104]. Такий підхід особливо доречний с позицій застосування економічного критерію. Саме такою є ситуація ОУЕЛ, де рішення щодо призначення локомотива в поїзд, визначають статистичні характеристики витрат від очікуваних простоїв локомотивів та составів в умовах, коли точно спрогнозувати моменти їх готовності практично неможливо. Задачі розробки математичної моделі оцінки призначень з використанням показника статистичного ризику присвячений розділ 3 (рис.1.7).

Метод оптимізації планування призначень повинен включати елементи прогнозування готовності локомотивів та составів до перевезень, а також алгоритми одержання оптимального плану. В літературі описаний широкий спектр напрямків статистичного прогнозування, включаючи регресійний аналіз та аналіз часових рядів [23, 76, 109, 111,], використання апарату нейронних мереж [22,74] імітаційного моделювання технологічного процесу [79, 97, 99, 109] та

експертних оцінок [76, 97, 99]. При цьому вибір методів прогнозування готовності локомотивів повинен спиратись на дослідження технологічного процесу їх підготовки.

З іншого боку, метод оптимізації призначення локомотивів в поїзди повинен включати алгоритм динамічного побудування плану з урахуванням змін в процесі перевезень, які відображуються зміною результатів прогнозування. Підходи до рішення подібних задач визначені зокрема в роботах [35, 96, 112], та роботах [34, 89, 94] авторів даної монографії.

Доречно зауважити, що підхід до оптимізації управління локомотивними парками на основі врахування ризиків знайшов подальший розвиток в роботах, які присвячені плануванню ремонтів локомотивів. Це в першу чергу стосується робіт І.І.Лакіна, І.К. Лакіна та А.А. Аболмасова (зокрема [51, 50, 52]), а також В.А. Гапановича, І.Б. Шубинського, та А.М.Замишляєва (зокрема [21]). Відзначимо, що ці роботи були опубліковані значно пізніше робіт авторів [57, 72], де підхід врахування ризиків в оперативному управлінні локомотивного парку був запропонований та розвинений.

3.2. Розширена постановка задачі про призначення з урахуванням ризику простоїв локомотивів та составів

Важливою умовою підвищення економічності перевезень є ефективне оперативне керування локомотивним парком у вантажному русі. Одна з найважливіших задач тут складається в раціональному призначенні локомотивів для транспортування составів, що зароджуються на полігоні керування. Ціль такого призначення – забезпечення своєчасності й економічності перевезень при виконанні технологічних обмежень.

Відповідно до існуючої технології задача призначення локомотивів вирішується диспетчерським апаратом відділень при тісній взаємодії поїзних і локомотивних диспетчерів. Аналіз роботи диспетчерських змін показує, що ключовою ланкою при цьому є поточне планування, що виконують поїзні диспет-

чери для своїх ділянок. У рамках такого планування постійно оцінюються і порівнюються розподіли локомотивів під поїзди, готовність яких до транспортування прогнозується в найближчий період.

Формальну сторону задачі ілюструє рис. 3.5.

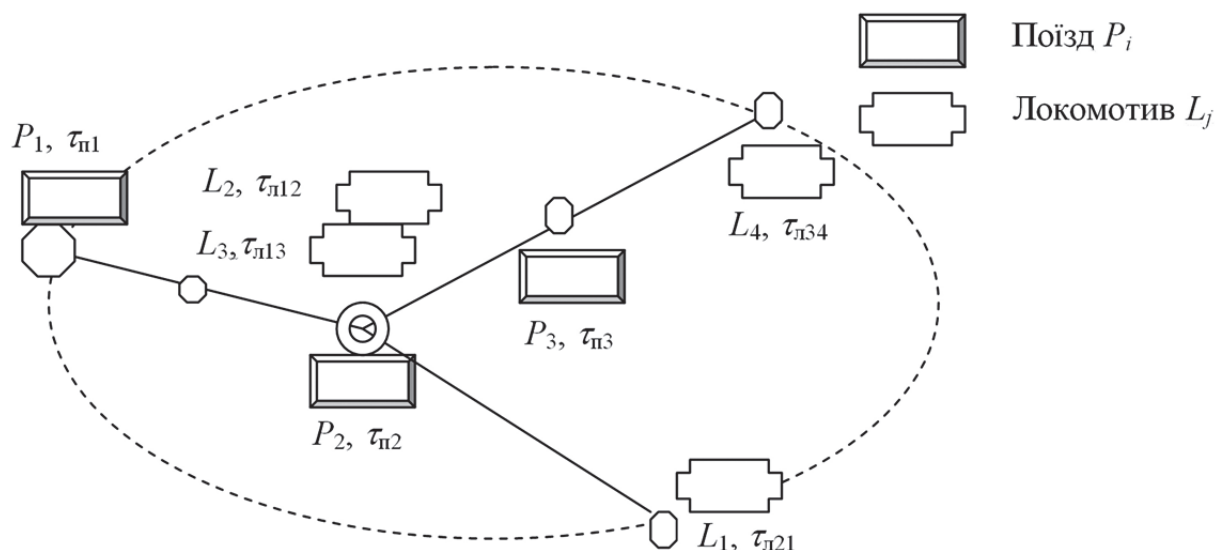


Рис. 3.5. До задачі про призначення локомотивів для перевезення поїздів

На станціях полігона керування (наприклад, диспетчерської дільниці) у моменти часу τ_{Pi} прогнозується зародження поїздів P_i , кожний з яких характеризується набором параметрів $\{X_i\}$, істотних з погляду їхнього транспортування (зокрема, масою, розташуванням станції відправлення, маршрутом перевезення, терміновістю доставки вантажу і т.д.).

Для транспортування цих поїздів можуть бути використані локомотиви L_j , кожний з яких у рамках даної задачі характеризується вектором параметрів $\{Y_j\}$ (тип тягової характеристики, станція поточної дислокації, припустимі час роботи і пробіг до виконання операцій по технічному обслуговуванню і т.д.). У залежності від поточного стану локомотива і його дислокації можна прогнозувати час його готовності для транспортування i -го поїзда τ_{lij}

Кожний з варіантів призначення j -го локомотива для транспортування i -го поїзда може бути охарактеризований набором відповідних витрат s_{ij} і набо-

ром технологічних обмежень g_{ij} . Витрати включають, зокрема, вартість енергоресурсів, необхідних для транспортування (можливо, з урахуванням одиночного проходження локомотива до місця готовності поїзда), оплату роботи локомотивної бригади, утрати від простою вагонів при можливому чеканні локомотива готовим поїздом і т.д. Обмеження враховують необхідність дотримання регламенту технічного обслуговування локомотива, роботи і відпочинку локомотивних бригад, можливо – необхідність своєчасного повернення «чужих» локомотивів на сусідні відділення і т.д.

Спрощене рішення може передбачати послідовне призначення локомотивів у міру готовності поїздів. Однак, рішення задачі в комплексі, коли розглядаються всі можливі варіанти призначень m доступних для використання на даному полігоні локомотивів для транспортування n поїздів, готовність яких прогнозується на період планування T_n , очевидно дозволяє підвищити ефективність керування. Саме такий підхід (який і складає суть поточного планування) використовується в практиці оперативного керування локомотивним парком.

Виходячи з приведених аналізу існуючої технології, доцільно використовувати як критерій мінімум очікуваних витрат на виконання робіт за умови дотримання технологічних обмежень. При цьому необхідно врахувати наступні фактори.

1) У складі витрат необхідно виділення двох категорій, що умовно можуть бути названі фіксованими і прогнозованими витратами. До категорії фіксованих будуть віднесені витрати, оцінки яких визначаються параметрами сформованої ситуації і довідкових даних. Такі, наприклад, витрати на потрібні енергоресурси, вартість яких у рамках задачі керування однозначно визначається характеристиками поїзда і локомотива, маршрутом і умовами поїздки. При цьому, оцінки згаданих витрат міняються в міру зміни ситуації, але вони фіксовані в сформованих умовах керування.

До прогнозованих витрат будуть віднесені ті, оцінка яких спирається на прогноз динаміки технологічного процесу, що неминуче виконується в умовах

невизначеності. Сюди, наприклад, відносяться очікувані утрати від простоїв, що виникають через непогодженість моментів готовності поїзда і локомотива.

2) Існування технологічні обмеження також можна розділити на дві групи: безумовні, порушення яких виключає варіант із числа прийнятних, а також умовні, недотримання яких у принципі припустимо, але оцінюється визначеним «штрафом». Останні також можуть бути або фіксованими, або спиратися на прогноз (як приклад другого варіанта можна привести «штраф» за несвоєчасність повернення «чужого» локомотива, що повинний залежати від часу прострочення).

Стосовно оцінки очікуваних витрат на основі прогнозування в умовах неповної інформації доречно використовувати підхід теорії статистичних рішень, де широко застосовується критерій ризику. Під ризиком тут розуміється імовірна оцінка очікуваних утрат, що зв'язані з невизначеністю в керуванні [10, 83, 104].

С обліком викладеного оцінка s очікуваних витрат, зв'язаних з конкретним варіантом рішення, може бути представлена у вигляді:

$$s = \sum_l c_l + \sum_k r_k, \quad (3.1)$$

де c_l – складові «фіксованих» витрат і штрафів; r_k – «ризики», оцінка яких спирається на прогноз динаміки технологічного процесу в умовах невизначеності.

На рис. 3.6 показаний приклад оцінки ризику, зв'язаного з чеканням локомотива готовим поїздом.

Час чекання $\Delta = \tau_{\text{лок}} - \tau_{\text{п}}$ являє собою випадкову величину з щільністю розподілу $\rho_{\text{пл}}(\Delta)$ (на рисунку вона показана для простого випадку рівномірного розподілу моментів готовності поїзда і локомотива). Функція втрат $c_{\text{пл}}(\Delta)$ нелінійна, виходячи з того, що деякий «нормативний» простій вважається припустимим. Очікувана величина втрат (ризик) підраховується по формулам, що будуть показані нижче.

Очікувана величина втрат (ризик) підраховується за формулою (3.2):

$$r_{\text{пл}} = \int_{\tau_0}^{\Delta_4} c_{\text{пл}}(\Delta) \cdot \left\{ 1 - \int_{\Delta} \rho_{\text{пл}}(\Delta) d\Delta \right\} d\Delta \quad (3.2)$$

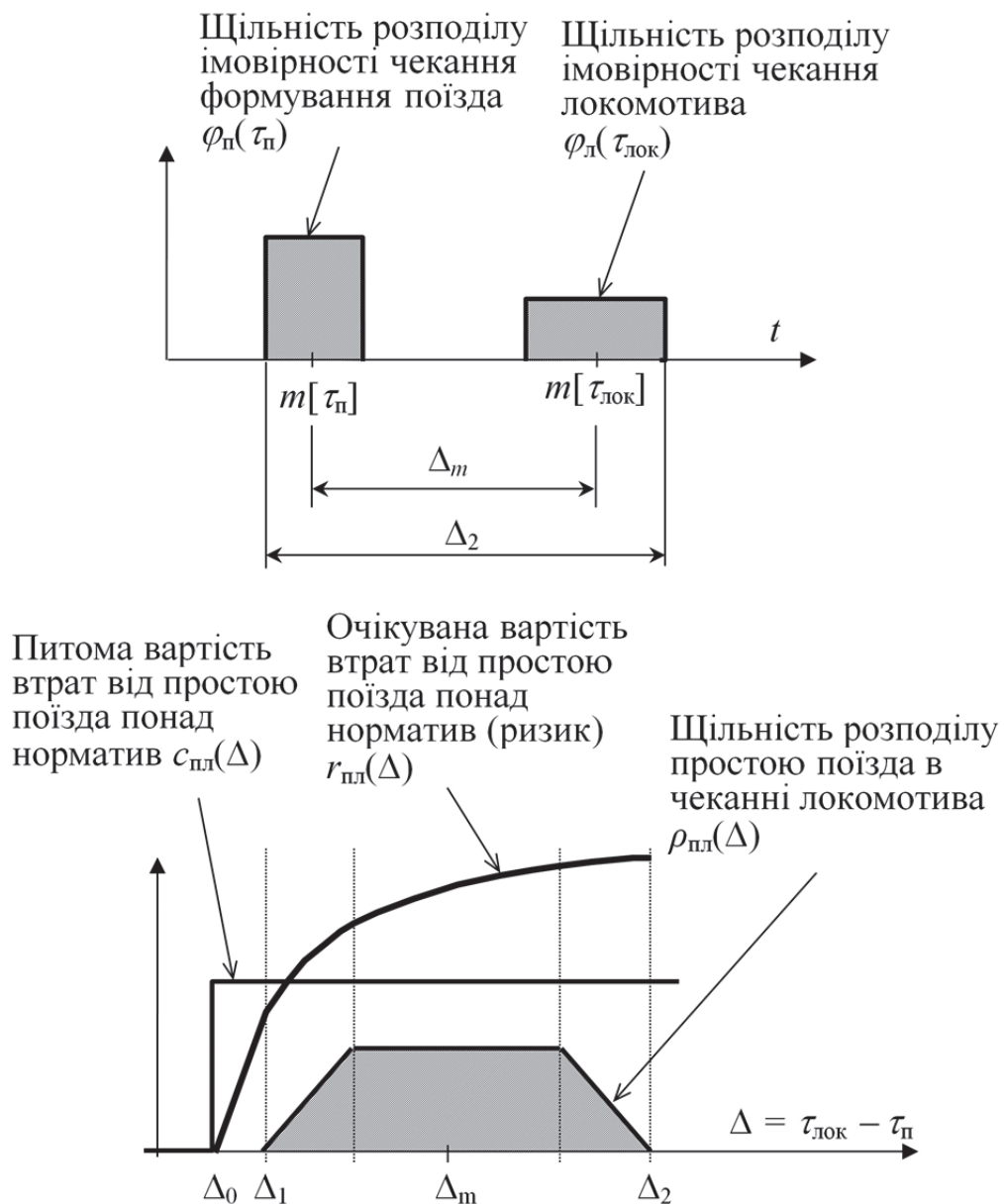


Рис. 3.6. Приклад оцінки ризику зв'язаного з чеканням локомотива ГОТОВИМ ПОЇЗДОМ

Прогнозування подій, що беруть участь в оцінці ризику, може виконуватися обліком інформації як апостеріорної (у даному випадку оперативної), так і апріорної (тут – статистичної). Наприклад, оцінка $m[\tau_{\text{п}}]$ часу готовності сформованого поїзда, використовує оперативні дані про хід його формування, а у їхній відсутності, спирається на середньостатистичну періодичність формування станцією поїздів для даного напрямку. Як показано в [58] може бути ефективним також спільне використання оцінок обох типів. Зрозуміло, від способу прогнозування залежить і його точність.

З рис. 3.6 наочно видно, що розрахункова величина ризику $r_{\text{пл}}$ залежить не тільки від розрахункової величини простою $\Delta_m = m[\tau_{\text{п}}] - m[\tau_{\text{лок}}]$, але і від оцінок розкиду $\sigma[\tau_{\text{п}}]$, $\sigma[\tau_{\text{лок}}]$, що визначаються точністю прогнозування моментів готовності поїзда і локомотива. Це цілком узгоджується з інтуїтивним уявленням про те, що, спираючись на більш точний прогноз наближених в часі подій, ми менше ризикуємо щодо ймовірних витрат.

Аналогічно описаному вище може бути виконаний підрахунок ризиків для випадку чекання поїзда локомотивом і бригадою. Той же апарат можна використовувати для оцінки негативних наслідків порушень деяких умовних технологічних обмежень.

Відзначимо, що при практичному використанні оцінок ризиків доцільно передбачити можливість коригування параметрів функцій втрат з боку користувача-диспетчера, який має повну інформацію про особливості ситуації управління (наприклад, коригування може враховувати терміновість вантажу).

Як було показано вище, у рамках даної задачі поточне планування передбачає аналіз різних варіантів призначення локомотивів під склади поїздів. Для оптимізації плану тут доречно застосувати модель «задачі про призначення» [12, 60], у якій знаходиться розподіл m ресурсів для виконання n робіт, що мінімізує сумарні витрати. При цьому оптимізація виконується на базі матриці витрат S (рис. 3.7). Оптимальному плану відповідає вектор $\mathbf{J} \{j_1, \dots, j_n\}$, який включає номери ресурсів, призначених для виконання всіх робіт. Методи його відшукування відомі [12, 60].

Відзначимо, що у відомій постановці задачі планування розподілу локомотивів у рамках моделі «задачі про призначення» передбачається, що значення витрат S_{ij} фіксовані (у тім розумінні, що обговорювалося вище). Звідси випливає важливий недолік такої постановки. Зокрема, вибір локомотивів для потягів, що мають високий ступінь готовності, очевидно, повинний мати пріоритет (що враховується на практиці), але це ніяк не відбивається в згаданій постановці задачі.

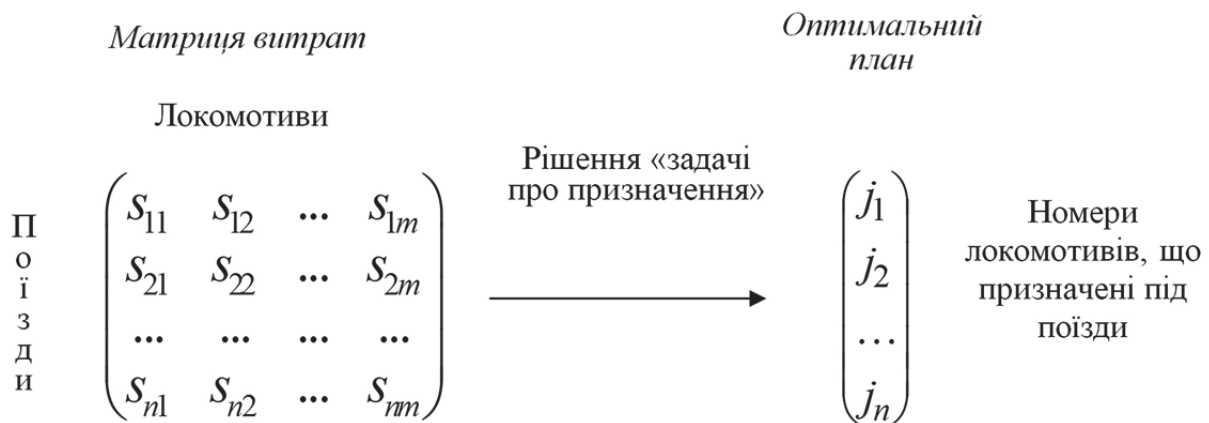


Рис. 3.7. Використання моделі «задачі про призначення»

Облік ризиків у складі очікуваних витрат дозволяє зняти зазначене протиріччя. Дійсно, для поїзда з високим ступенем готовності розрахункові величини ризиків будуть менше, ніж для віддаленої в часі роботи, оскільки в другому випадку точність прогнозування оцінюється як більш низька. Таким чином, більш актуальні роботи отримують природну перевагу, тобто, для них при плануванні будуть вибиратися більш сприятливі варіанти призначень.

Ключовим моментом для ефективного використання пропонованого підходу є достовірна оцінка точності прогнозування подій, від яких залежить ризик. При цьому розробка і дослідження методів такого прогнозування являє собою окрему задачу.

3.3. Оцінка ризику взаємного очікування локомотива та составу

3.3.1. Постановка задачі та оцінка ризику в загальному випадку

Нехай $\varphi_1(t_1)$ - щільність розподілу часу t_1 готовності об'єкта А (потяг), $\varphi_2(t_2)$ – щільність розподілу часу t_2 готовності об'єкта В (локомотив) (рис. 3.8а).

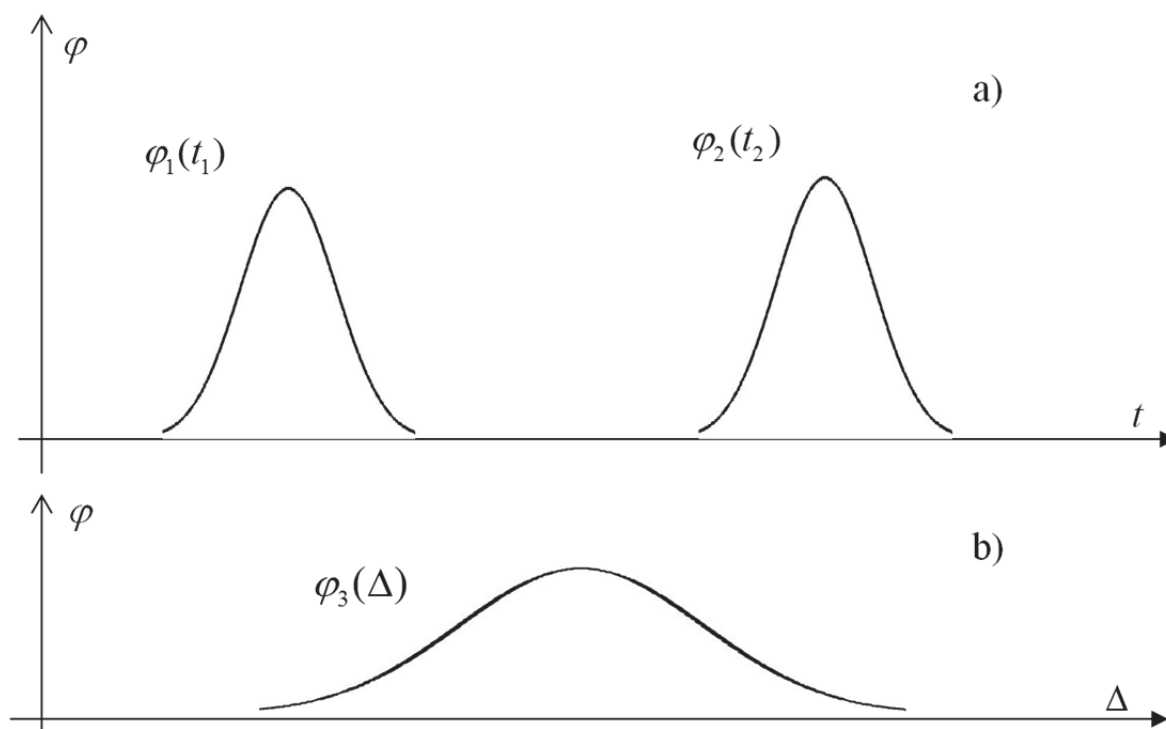


Рис.3.8. Щільність розподілу часу готовності об'єктів (а) та різниці часу (b)

Щільність розподілу різниці часів $\Delta = t_2 - t_1$ можна знайти, як композицію закону розподілу (розподіл суми двох величин, за умови, що одна з величин не-гативна [20].

Нехай $\varphi_2(t_2)$, $\varphi_1(t_1)$ практично не перетинаються. Тоді $\varphi_3(\Delta)$ практично вся перебуває на позитивній частині осі Δ (рис. 3.8b).

Об'єкт А при цьому буде очікувати готовність об'єкта В.

Знайдемо ризик (певний імовірнісним характером простою) на елементарному відрізку $d\Delta$, що відстоїть на $kd\Delta$ від початку координат (рис. 3.9).

Вартість простою до моменту досягнення різниці визначається питомою вартістю простою C_A (вартість простою в одиницю часу) та імовірністю того, що «зустріч» (закінчення очікування об'єктом А готовності об'єкта В та причеплення локомотива до потягу) не було на цьому відрізку й не було до цього моменту.

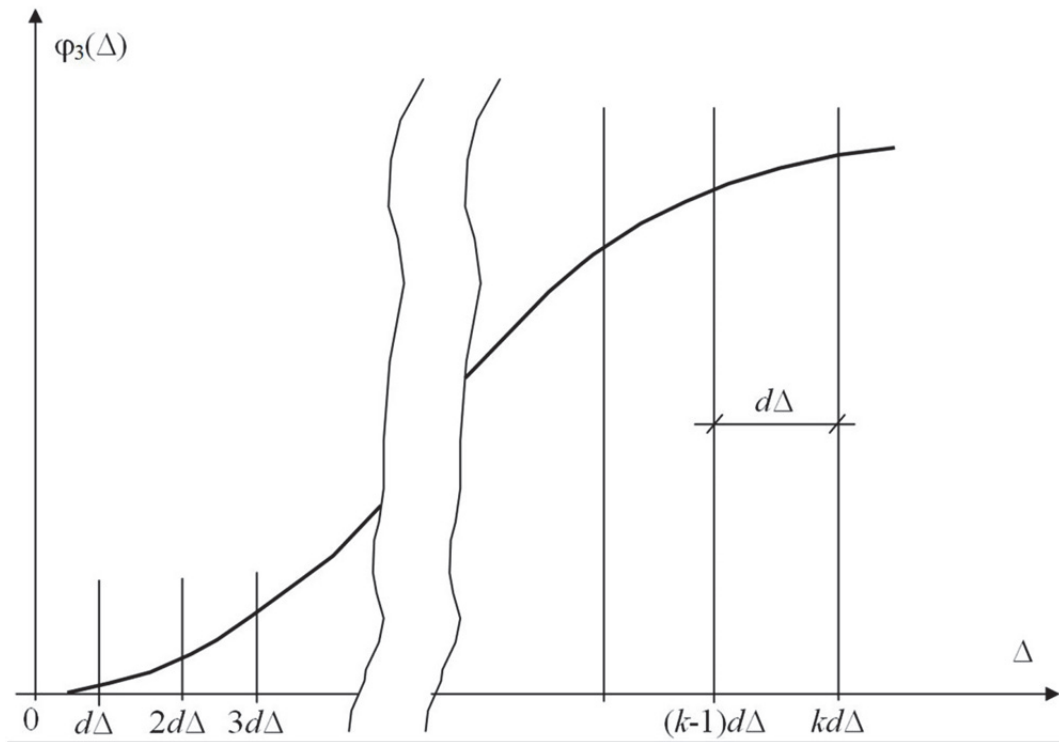


Рис. 3.9. Дискретизація щільності розподілу часу очікування

Очевидно, що значення ризику до моменту $kd\Delta$ визначається виразом

$$R_k = C_A \left\{ (1 - P_1)d\Delta + [1 - (P_1 - P_2)]\Delta + \dots + \left[1 - \sum_{i=1}^k P_i \right] d\Delta \right\}. \quad (3.3)$$

Тут P_i – ймовірність того, що «зустріч» відбудеться на відрізку $[id\Delta - (i-1)d\Delta]$;

$\sum_{i=1}^k P_i$ – ймовірність того, що «зустріч» відбудеться до моменту $id\Delta$;

$(1 - \sum_{i=1}^k P_i)$ – імовірність того, що до моменту $id\Delta$ «зустріч» не відбудеться;

$C_A d\Delta$ – вартість простою на відрізку $[kd\Delta - (k-1)d\Delta]$.

Враховуючи, що

$$P_i \approx \varphi_3(id\Delta)d\Delta, \quad (3.4)$$

одержимо

$$R_k = C_A \sum_{j=1}^k \left[1 - \sum_{i=1}^k \varphi_3(i\Delta)d\Delta \right] d\Delta. \quad (3.5)$$

Переходячи до безперервних величин ($d\Delta \rightarrow 0$):

$$R(\Delta) = C_A \int_0^{\Delta} \left[1 - \int_0^{\Delta} \varphi_3(\Delta)d\Delta \right] d\Delta. \quad (3.6)$$

Для випадку, коли $\varphi_3(\Delta)$ перетинає вісь ординат (рис. 3.10) ризик визначається виходячи з того, що можливо як очікування об'єктом А готовності В, так і очікування об'єктом В готовності А.

Тому що питома вартість простою об'єкта А и В різна, то сумарний ризик визначається, як

$$R = R_A + R_B. \quad (3.7)$$

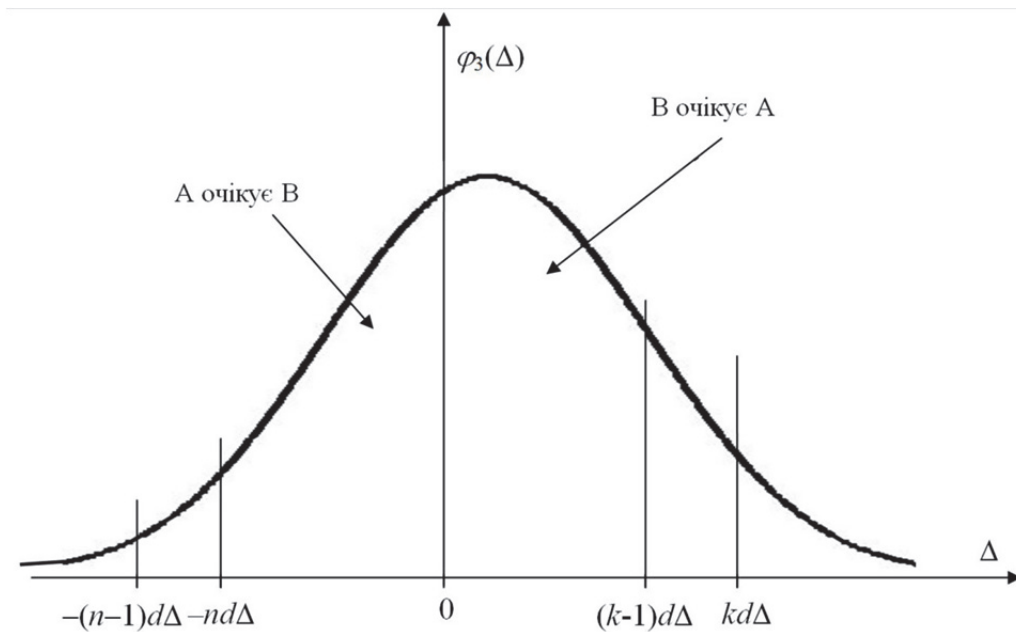


Рис. 3.10. Випадок з від'ємною частиною щільності розподілу часу очікування

Якщо відправлення поїзда пов'язане з нитками графіка, то ризик необхідно розраховувати не по щільності розподілу різниці часів «готовності», а по щільності розподілу $\varphi_{AB}(t_3)$ часу «зустрічі» t_3 (нагадаємо, що під терміном час «зустрічі» будемо розуміти момент, коли один з об'єктів А чи В, будучи раніше готовим, дочекається готовності другого об'єкту та потяг буде причеплено до локомотиву).

Розглядаючи щільність розподілу А и В (рис. 3.11), помітимо, що ймовірність «зустрічі» на відрізку $[(k-1)dt - kdt]$ визначається складною подією:

(І подія)

на відрізку $[(k-1)dt - kdt]$ з'явилася готовність об'єкта В (ймовірність цього P_{Bk}),

ТА

до цього моменту об'єкт А вже був готовий (ймовірність цього дорівнює $\sum_{i=1}^k P_{Ai}$

, де P_{Ai} – ймовірність того, що на відрізку $[(i-1)dt - idt]$ з'явилася готовність об'єкта А)

АБО

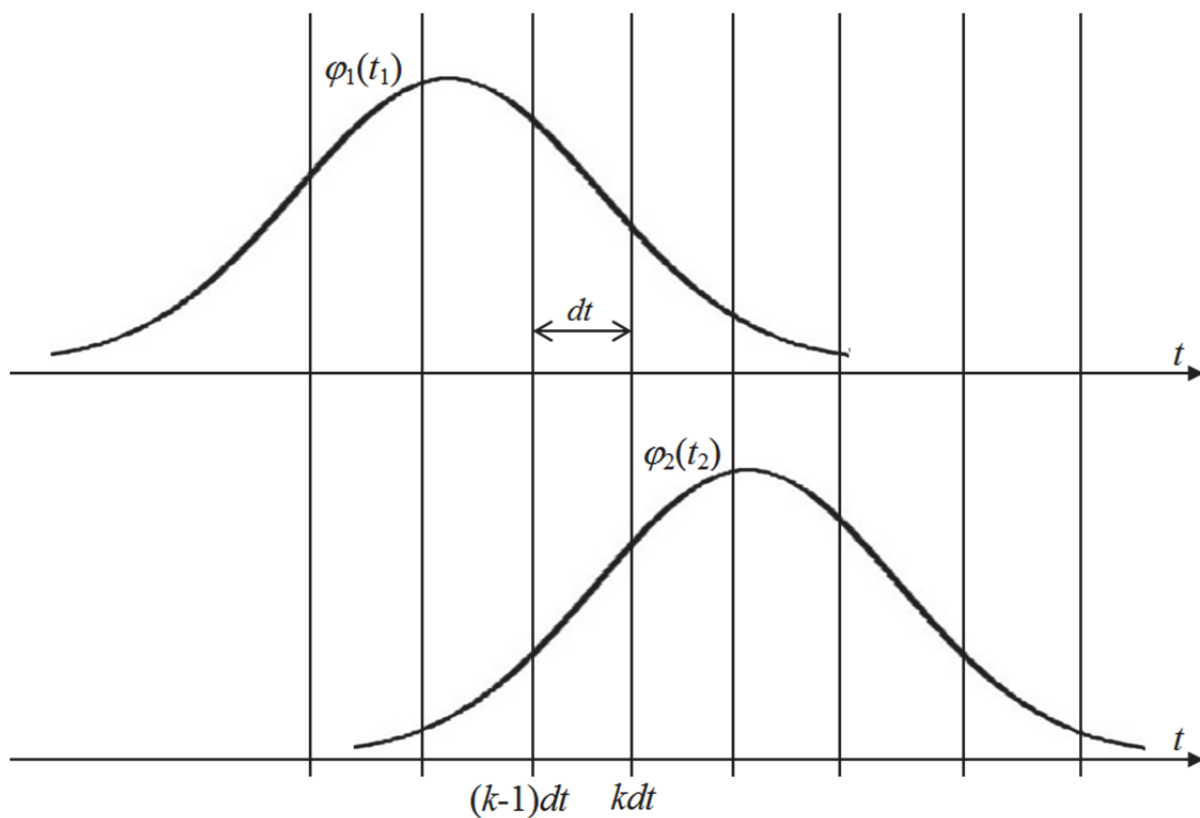


Рис. 3.11. Щільність розподілу часу очікування об'єктів А та В

(II подія)

на відрізку $[(k-1)dt - kdt]$ з'явилася готовність об'єкта А (ймовірність цього P_{Ak}),

ТА

до цього моменту об'єкт В вже був готовий (ймовірність цього дорівнює $\sum_{i=1}^k P_{Bi}$,

де P_{Bi} – ймовірність того, що на відрізку $[(i-1)dt - idt]$ з'явилася готовність об'єкта В).

Ймовірність I події виражається формулою

$$P_I = P_{Bk} \sum_{i=1}^k P_{Ai}, \quad (3.8)$$

а ймовірність II події:

$$P_{II} = P_{Ak} \sum_{i=1}^k P_{Bi} . \quad (3.9)$$

За правилами де Моргана

$$P_I \vee P_{II} = \overline{\overline{P_I} \wedge \overline{P_{II}}} . \quad (3.10)$$

Таким чином,

$$\begin{aligned} P_{ABk} &= 1 - (1 - P_I)(1 - P_{II}) = 1 - \left(1 - P_{Bk} \sum_{i=1}^k P_{Ai}\right) \left(1 - P_{Ak} \sum_{i=1}^k P_{Bi}\right) = \\ &= P_{Ak} \sum_{i=1}^k P_{Bi} + P_{Bk} \sum_{i=1}^k P_{Ai} - P_{Ak} P_{Bk} \sum_{i=1}^k P_{Ai} \sum_{i=1}^k P_{Bi} . \end{aligned} \quad (3.11)$$

З урахуванням того, що dt ми приймаємо малим, малим будуть і значення P_{Ak} , P_{Bk} , значить їх добутком можна знехтувати.

Так як

$$P_{Ai} \approx \varphi_A(t_i) dt , \text{ де } t_i = idt, \quad (3.12)$$

$$P_{Bi} \approx \varphi_B(t_i) dt , \quad (3.13)$$

то підставляючи ці значення в (3.11), з урахуванням зауваження щодо нехтування добутку двох ймовірностей в (3.11), одержимо:

$$P_{ABk} = \varphi_A(kdt) dt \sum_{i=1}^k \varphi_B(idt) dt + \varphi_B(kdt) dt \sum_{i=1}^k \varphi_A(idt) dt , \quad (3.14)$$

Оскільки

$$\varphi_{AB}(t_k) = P_{ABk} / dt, \text{ де } t_k = kdt, \quad (3.15)$$

то

$$\varphi_{AB}(kdt) = \left[\varphi_A(kdt) \sum_{i=1}^k \varphi_B(idt) + \varphi_B(kdt) \sum_{i=1}^k \varphi_A(idt) \right] dt. \quad (3.16)$$

Переходячи від суми до інтегралу, при $dt \rightarrow 0$, одержимо

$$\varphi_{AB}(t) = \varphi_A(t) \int_0^t \varphi_B(t) dt + \varphi_B(t) \int_0^t \varphi_A(t) dt. \quad (3.17)$$

Додатковий ризик обчислюють за вищевказаною методикою, підставляючи в якості меж інтегрування час відповідних ниток графіку. При цьому необхідно враховувати, що поїзд може бути відправлений за різними нитками графіку, отже виникає декілька варіантів плану призначень.

На рис. 3.12 показано накладання розподілів моментів готовності декількох поїздів (j – состав, i – локомотив з матриці призначень) на нитки графіку T_{hk} . (k – послідовний номер нитки). Тут G_{ij} – момент готовності поїзда ij : i -й локомотив, j -й склад.

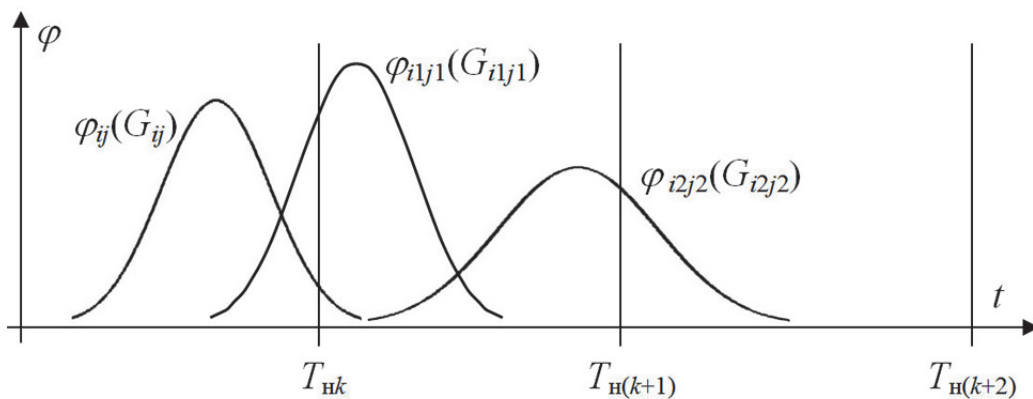


Рис. 3.12. Накладання розподілів моментів готовності декількох поїздів

На підставі цих розподілів можливий перебір варіантів розподілу ниток (найближчих до готового поїзду). Наприклад:

Варіант 1

На нитку k – поїзд ij ; на нитку $k+1$ – поїзд i_1j_1 ; на нитку $k+2$ – поїзд i_2j_2 .

Варіант 2

На нитку k – поїзд i_1j_1 ; на нитку $k+1$ – поїзд ij ; на нитку $k+2$ – поїзд i_2j_2 .

Варіант 3

На нитку k – поїзд i_1j_1 ; на нитку $k+1$ – поїзд i_2j_2 ; на нитку $k+2$ – поїзд i_1j_1

і т.д.

Припускаємо, що втрати пропорційні відрізкам часу від моменту готовності до моменту відправлення.

Знаходимо втрати для всіх можливих варіантів розподілу ниток. Так, для вищенаведеного прикладу розрахунок можливих втрат розраховується таким чином:

Поїзд ij на нитку k якщо встигне (імовірність $P_{k_{ij}}$), або на нитку $k+1$ якщо не встигне (імовірність $1 - P_{k_{ij}}$).

Поїзд i_1j_1 на нитку k , якщо встигне (імовірність $P_{k_{i_1,j_1}}$) та потяг ij на неї НЕ встигне (імовірність $1 - P_{k_{ij}}$). Імовірність одночасного виконання цих двох умов:

$P_{k_{i_1,j_1}}(1 - P_{k_{ij}})$, інакше на нитку $k+1$ якщо ij її не займе (імовірність цього $P_{k_{ij}}$), інакше на нитку $k+2$ (імовірність цього $1 - [P_{k_{i_1,j_1}}(1 - P_{k_{ij}})] + P_{k_{ij}}$).

Поїзд i_2j_2 на нитку $k+2$ якщо нитку не зайняв i_1j_1 (імовірність $P_{k_{i_1,j_1}}(1 - P_{k_{i,j}}) + P_{k_{i,j}}$), інакше на нитку $k+3$ (імовірність $1 - [P_{k_{i_1,j_1}}(1 - P_{k_{ij}})] + P_{k_{ij}}$).

Сумарні втрати (математичне очікування) по кожному варіанту обчислюють враховуючи імовірності подій та додаткові ризики очікування нитки графіку.

Перебираючи всі варіанти знаходять той з них, сумарні втрати для якого є найменшими.

3.3.2. Розрахунок ризику для випадку рівномірних розподілень

Задача підрахунку ризиків в цьому випадку формулюється наступним чином. Розглянемо випадок рівномірного розподілу моментів готовності поїзда і локомотива (рис. 3.13).

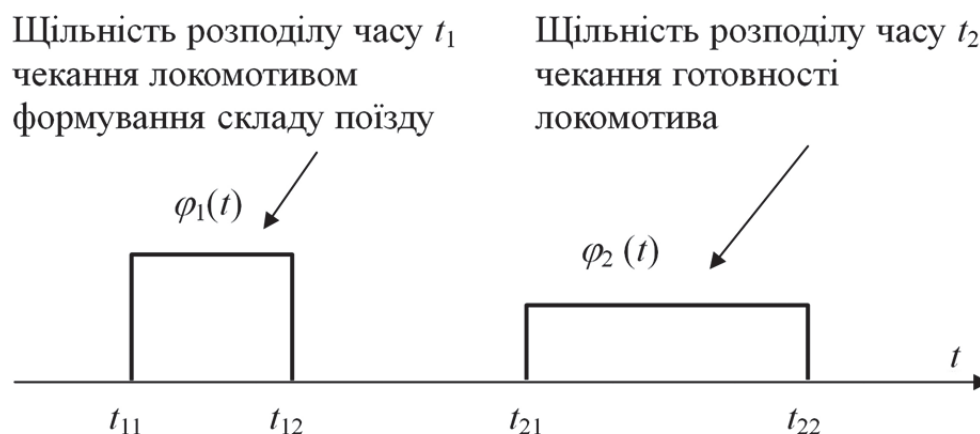


Рис. 3.13. Випадок рівномірного розподілу моментів готовності складу поїзда і локомотива

Потрібно знайти щільність розподілу імовірності величини $(t_2 - t_1)$, тобто чекання составом готовності локомотива (звичайно, можлива ситуація, коли локомотив чекає прибуття, або готовність составу).

Тому що різниця – окремий випадок суми (другий доданок негативний), у припущенні, що t_1 і t_2 незалежні, знайдемо композицію законів розподілу (закон розподілу суми двох незалежних випадкових величин). У загальному випадку позначимо дві випадкові величини x і y , відшукаємо закон розподілу величини $z = x + y$.

Відповідно до [20] функція розподілу $G(z)$ дорівнює:

$$G(z) = \iint_{(D)} \varphi(x, y) dx dy = \iint_{(D)} \varphi(x) \cdot \varphi(y) dx dy. \quad (3.18)$$

Тут D – область проектування лінії K на площину xOy . Лінія K утворюється в результаті перетинання площиною Q , паралельно xOy , функції $z = x + y$ на відстані z від xOy . Причому, будь-яка випадкова точка (X, Y) повинна попадати в область D . Очевидно, що для нашого випадку область $D_{\max}$ визначається щільностями розподілу φ_1 і φ_2 (це її максимальна величина) і відстанню z від xOy . Побудуємо пряму $z = x + y$. Її перетинання з $D_{\max}$ визначить область D (рис.3.14).

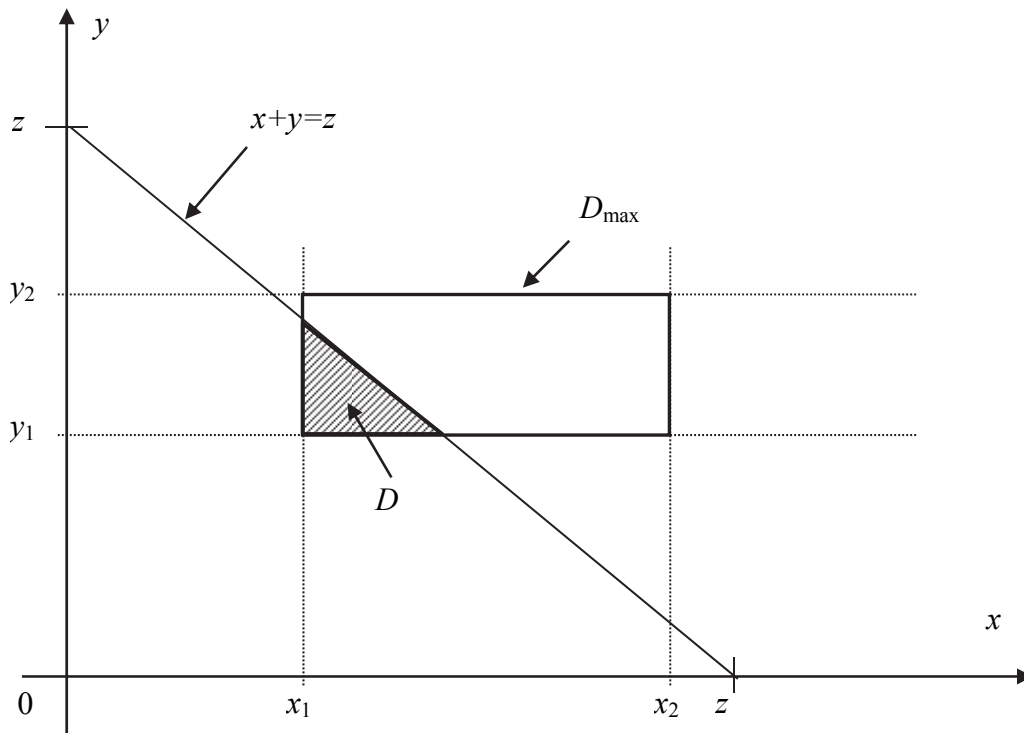


Рис. 3.14. Область D

Розглянемо ряд випадків перетинання в припущенні, що $(y_2 - y_1) < (x_2 - x_1)$.

На рис.3.15 розглянуто випадок, коли $z_1 < z < z_2$.

Тут

$$z_1 = x_1 + y_1;$$

$$z_2 = x_1 + y_2.$$

Легко побачити, що

$$\frac{z - x_1}{d} = \frac{y_1 + d}{d} \rightarrow d = z - (x_1 + y_1). \quad (3.19)$$

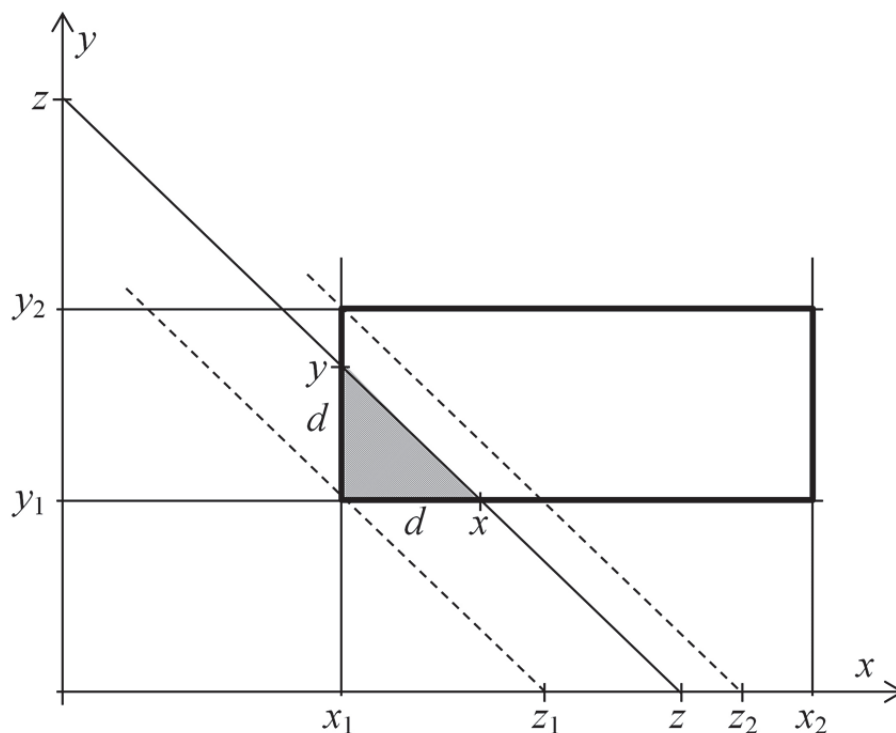


Рис. 3.15. Область D у випадку , коли $z_1 < z < z_2$.

З (3.18) та рис. 3.15 випливає, що $G(Z)$ можна інтерпретувати, як об'єм призми з основою в вигляді прямокутного рівнобедреного трикутника із катетами d та висотою, що дорівнює $\varphi(x, y)$:

$$G(z) = \frac{[z - (x_1 + y_1)]^2}{2} \cdot \varphi(x, y). \quad (3.20)$$

Вочевидь, що щільність розподілу дорівнює:

$$g(z) = G'(z) = [z - (x_1 + y_1)] \cdot \varphi(x, y). \quad (3.21)$$

На рис.3.16 розглянуто випадок, коли $z_2 < z < z_3$.

Тут $z_3 = x_2 + y_1$.

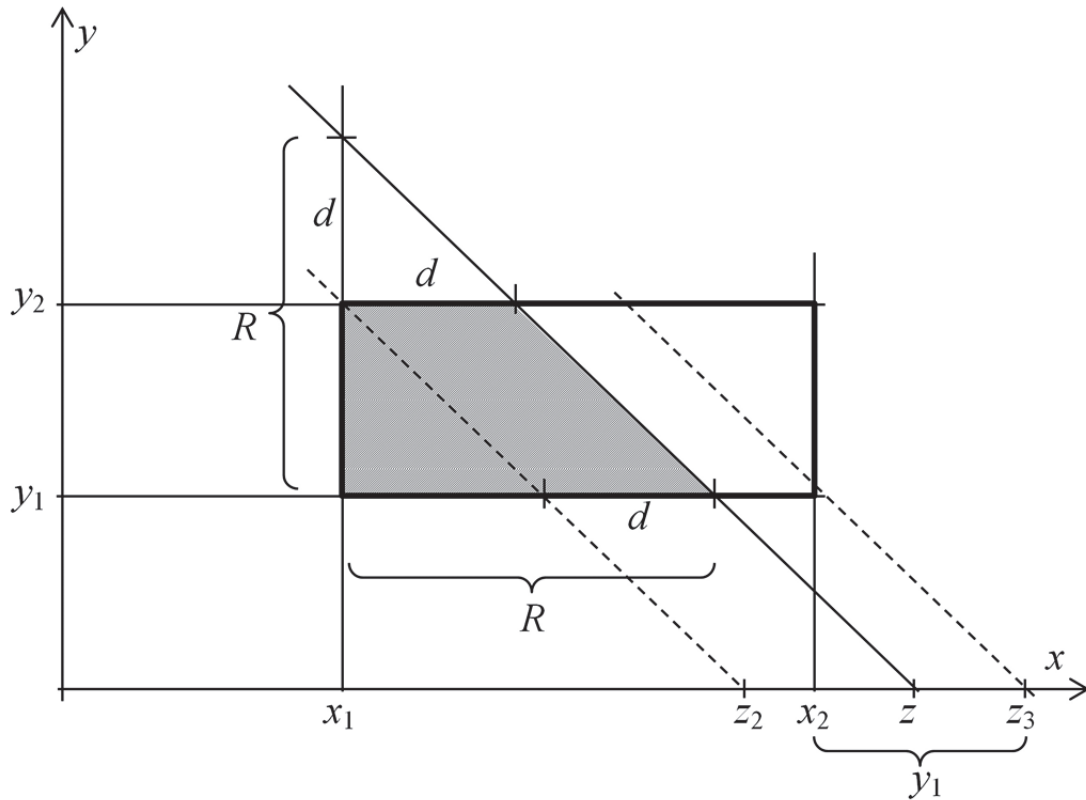


Рис. 3.16. Область D у випадку , коли $z_2 < z < z_3$

Якщо позначити

$$R = (y_2 - y_1) + d = y_2 - y_1 + z - x_1 - y_2 = z - (x_1 + y_1), \quad (3.22)$$

то легко побачити, що функція розподілу дорівнює:

$$G(z) = \varphi(x, y) \cdot \left(\frac{R^2}{2} - \frac{d^2}{2} \right) = \left\{ \frac{[z - (x_1 + y_1)]^2}{2} - \frac{[z - (x_1 + y_2)]^2}{2} \right\} \cdot \varphi(x, y). \quad (3.23)$$

При цьому, щільність розподілу дорівнює:

$$\begin{aligned}
g(z) &= G'(z) = [z - (x_1 + y_1) - z + (x_1 + y_2)] \cdot \varphi(x, y) = \\
&= (y_2 - y_1) \cdot \varphi(x, y) = (y_2 - y_1) \frac{1}{(x_2 - x_1)} \frac{1}{(y_2 - y_1)} = \frac{1}{(x_2 - x_1)}.
\end{aligned}
\tag{3.24}$$

У випадку, що показаний на рисунку 3.17, $z_3 < z < z_4$.

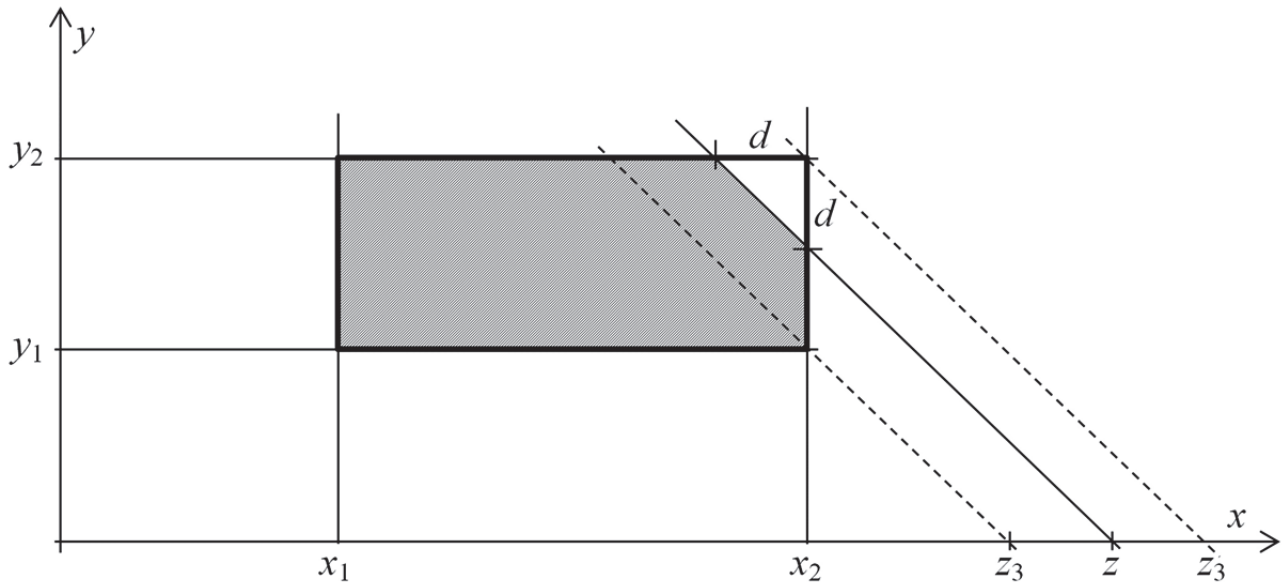


Рис. 3.17. Область D у випадку, коли $z_3 < z < z_4$

Тут $z_4 = x_2 + y_2$.

Можна побачити, що

$$z - x_2 = y_2 - d \rightarrow d = y_2 + x_2 - z.$$
(3.25)

Звідки випливає що функція розподілу дорівнює:

$$G(z) = \left[(x_2 - x_1) \cdot (y_2 - y_1) - \frac{[x_2 + y_2 - z]^2}{2} \right] \cdot \varphi(x, y),$$
(3.26)

а щільність розподілу дорівнює:

$$g(z) = G'(z) = [(x_2 + y_2) - z] \cdot \varphi(x, y). \quad (3.27)$$

Якщо узагальнити усі випадки, отримаємо:

$$g(z) = \begin{cases} 0 & \text{якщо } z < z_1 \text{ або } z > z_4; \\ [z - (x_1 + y_1)] \cdot \varphi(x, y) & \text{якщо } z_1 \leq z \leq z_2; \\ (y_2 - y_1) \cdot \varphi(x, y) & \text{якщо } z_2 < z < z_3; \\ [(x_2 + y_2) - z] \cdot \varphi(x, y) & \text{якщо } z_3 \leq z \leq z_4. \end{cases} \quad (3.28)$$

Узагальнений випадок показаний на рис. 3.18.

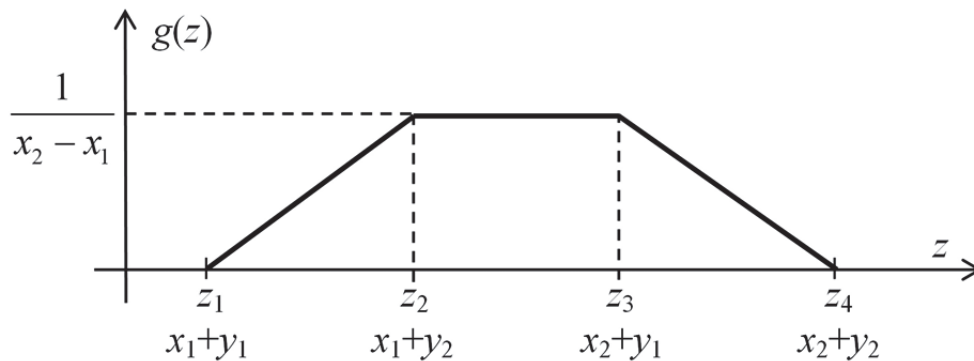


Рис. 3.18. Узагальнений випадок

Помітимо, що $z_2 - z_1 = z_4 - z_3 = y_2 - y_1$.

Перейдемо до фізичних координат. У нас x – це час готовності локомотива – t_2 , а y – час підходу состава – t_1 . Крім того, ми розглядаємо випадок не суми, а різниці випадкових величин.

Маємо щільність розподілу $\varphi(t_1, t_2)$ системи двох подій t_1 і t_2 .

Якщо припустити, що t_1 і t_2 – рівномірно розподілені події (рис. 3.13), то

$$\varphi(t_1, t_2) = \frac{1}{t_{12} - t_{11}} \cdot \frac{1}{t_{22} - t_{21}}. \quad (3.29)$$

Тому що розглядаємо різницю величин $\Delta = t_2 - t_1$, то (рис. 3.19):

$$\Delta_1 = t_{21} - t_{12}; \quad (3.30)$$

$$\Delta_2 = t_{21} - t_{11}; \quad (3.31)$$

$$\Delta_3 = t_{22} - t_{12}; \quad (3.32)$$

$$\Delta_4 = t_{22} - t_{11}. \quad (3.33)$$

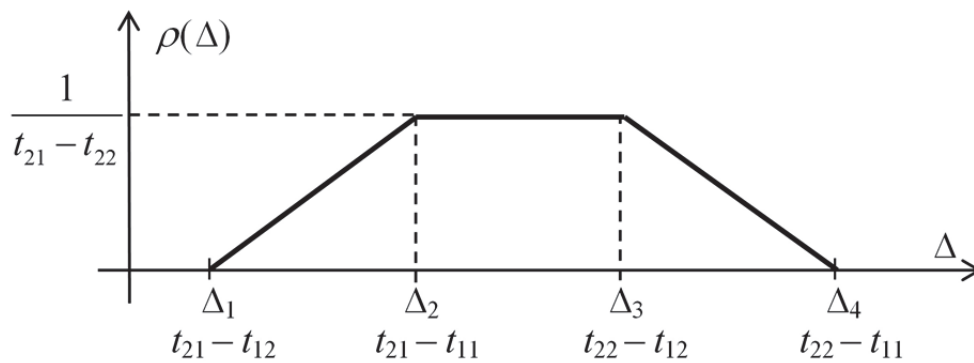


Рис. 3.19. Розглядання різниці величин $\Delta = t_2 - t_1$,

Щільність розподілу Δ визначається з виразу:

$$g(\Delta) = \begin{cases} 0 & \text{якщо } \Delta < \Delta_1 \text{ або } \Delta > \Delta_4; \\ [\Delta - (t_{21} - t_{12})] \cdot \varphi(t_1, t_2) & \text{якщо } \Delta_1 \leq \Delta \leq \Delta_2; \\ (t_{12} - t_{11}) \cdot \varphi(t_1, t_2) & \text{якщо } \Delta_2 < \Delta < \Delta_3; \\ [(t_{21} - t_{12}) - \Delta] \cdot \varphi(t_1, t_2) & \text{якщо } \Delta_3 \leq \Delta \leq \Delta_4. \end{cases} \quad (3.34)$$

З урахуванням імовірності величини Δ ризик R (плата за простій) визначається за формулою:

$$R = \int_{\tau_0}^{\Delta_4} c^* \left(1 - \int_{\Delta_1}^{\Delta} \rho(\Delta) d\Delta \right) d\Delta. \quad (3.35)$$

Тут c^* – плата за одиницю часу наднормативного простою, $\rho(\Delta)$ – щільність розподілу різниці часу Δ .

Позначимо:

$$I = \int_{\Delta_1}^{\Delta} \rho(\Delta) d\Delta, \quad \Delta_1 \leq \Delta \leq \Delta_4. \quad (3.36)$$

Тоді

$$R = \int_{\tau_0}^{\Delta_4} c^* (1 - I) d\Delta = c^* \left[\int_{\tau_0}^{\Delta_4} d\Delta - \int_{\tau_0}^{\Delta_4} I d\Delta \right] = c^* \left[(\Delta_4 - \tau_0) - \int_{\tau_0}^{\Delta_4} I d\Delta \right]. \quad (3.37)$$

З огляду на (3.19) знайдемо:

якщо $\Delta \leq \Delta_1$, або $\Delta \geq \Delta_4$:

$$I = 0; \quad (3.38)$$

якщо $\Delta_1 \leq \Delta \leq \Delta_2$:

$$\begin{aligned} I &= \varphi(t_1, t_2) \cdot \int_{\Delta_1}^{\Delta} (\Delta - \Delta_1) d\Delta = \varphi(t_1, t_2) \cdot \left(\frac{\Delta^2}{2} \Big|_{\Delta_1}^{\Delta} - \Delta_1 \cdot \Delta \Big|_{\Delta_1}^{\Delta} \right) = \\ &= \varphi(t_1, t_2) \cdot \left[\frac{\Delta^2 - \Delta_1^2}{2} - \Delta_1 (\Delta - \Delta_1) \right]; \end{aligned} \quad (3.39)$$

якщо $\Delta_2 \leq \Delta \leq \Delta_3$:

$$I = \varphi(t_1, t_2) \cdot (\Delta_2 - \Delta_1) \int_{\Delta_2}^{\Delta} d\Delta = \varphi(t_1, t_2) \cdot (\Delta_2 - \Delta_1) \cdot (\Delta - \Delta_2); \quad (3.40)$$

якщо $\Delta_3 \leq \Delta \leq \Delta_4$:

$$I = \varphi(t_1, t_2) \cdot \int_{\Delta_3}^{\Delta} (\Delta_4 - \Delta) d\Delta = \varphi(t_1, t_2) \cdot \left(\Delta_4 (\Delta - \Delta_3) - \frac{\Delta^2 - \Delta_3^2}{2} \right). \quad (3.41)$$

Знайдемо:

$$\begin{aligned} R_1 &= \int_{\Delta_1}^{\Delta_4} Id\Delta = \int_{\Delta_1}^{\Delta_2} Id\Delta + \int_{\Delta_2}^{\Delta_3} Id\Delta + \int_{\Delta_3}^{\Delta_4} Id\Delta = \\ &= f(t_1, t_2) \cdot \frac{1}{6} \left[(\Delta_2 - \Delta_1)^3 + 3(\Delta_2 - \Delta_1)(\Delta_3 - \Delta_2)^2 + 2(\Delta_4 - \Delta_3)^3 \right]. \end{aligned} \quad (3.42)$$

Позначимо:

$$(\Delta_2 - \Delta_1) = (\Delta_4 - \Delta_3) = \Theta. \quad (3.43)$$

Тоді:

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{1}{6} \varphi(t_1, t_2) \cdot \left\{ \left[\Theta^3 + 3\Theta(\Delta_3 - \Delta_2)^2 + 2\Theta^3 \right] \right\} = \\ &= \frac{\Theta \cdot \varphi(t_1, t_2)}{2} \left[\Theta^2 + (\Delta_3 - \Delta_2)^2 \right]. \end{aligned} \quad (3.44)$$

Підставивши (3.21) в (3.20), знайдемо:

$$R = c^* \left\{ (\Delta_4 - \tau_0) - \frac{\Theta \cdot \varphi(t_1, t_2)}{2} \cdot \left[\Theta^2 + (\Delta_3 - \Delta_2)^2 \right] \right\}. \quad (3.45)$$

Якщо вартість простою різна, тобто $c^{\Lambda} \neq c^{\Pi}$, то у випадку, якщо $f_{\Lambda}(t)$ і $f_{\Pi}(t)$ не перетинаються, то вибір c^* визначається тим, який об'єкт (склад потягу чи локомотив) очікується раніше (очевидно, що простоювати буде інший об'єкт).

Випадок очікування «зустрічі» об'єктів (локомотива і складу потяга) при рівномірному закону розподілу готовності кожного показаний на рис. 3.20. Тут φ_C – розподіл імовірності «зустрічі».

Розподіл готовності одного з об'єктів – А – описується формулою:

$$\varphi_A = \begin{cases} \frac{1}{a_2 - a_1} & \text{якщо } a_1 \leq t \leq a_2; \\ 0 & \text{інакше.} \end{cases} \quad (3.46)$$

Для об'єкту В, відповідно:

$$\varphi_B = \begin{cases} \frac{1}{b_2 - b_1} & \text{якщо } b_1 \leq t \leq b_2; \\ 0 & \text{інакше.} \end{cases} \quad (3.47)$$

Розподіл імовірності «зустрічі» знайдемо по окремим відріzkам часу, позначених на рис. 3.20 як I, II, III.

На відріzkу I імовірність готовності одного з об'єктів дорівнює нуля, во-
чевидь імовірність «зустрічі» також дорівнює нуля і значення φ_C на цьому від-
ріzkі дорівнює нуля.

На відріzkі II відповідно з формулою 3.17 знайдено:

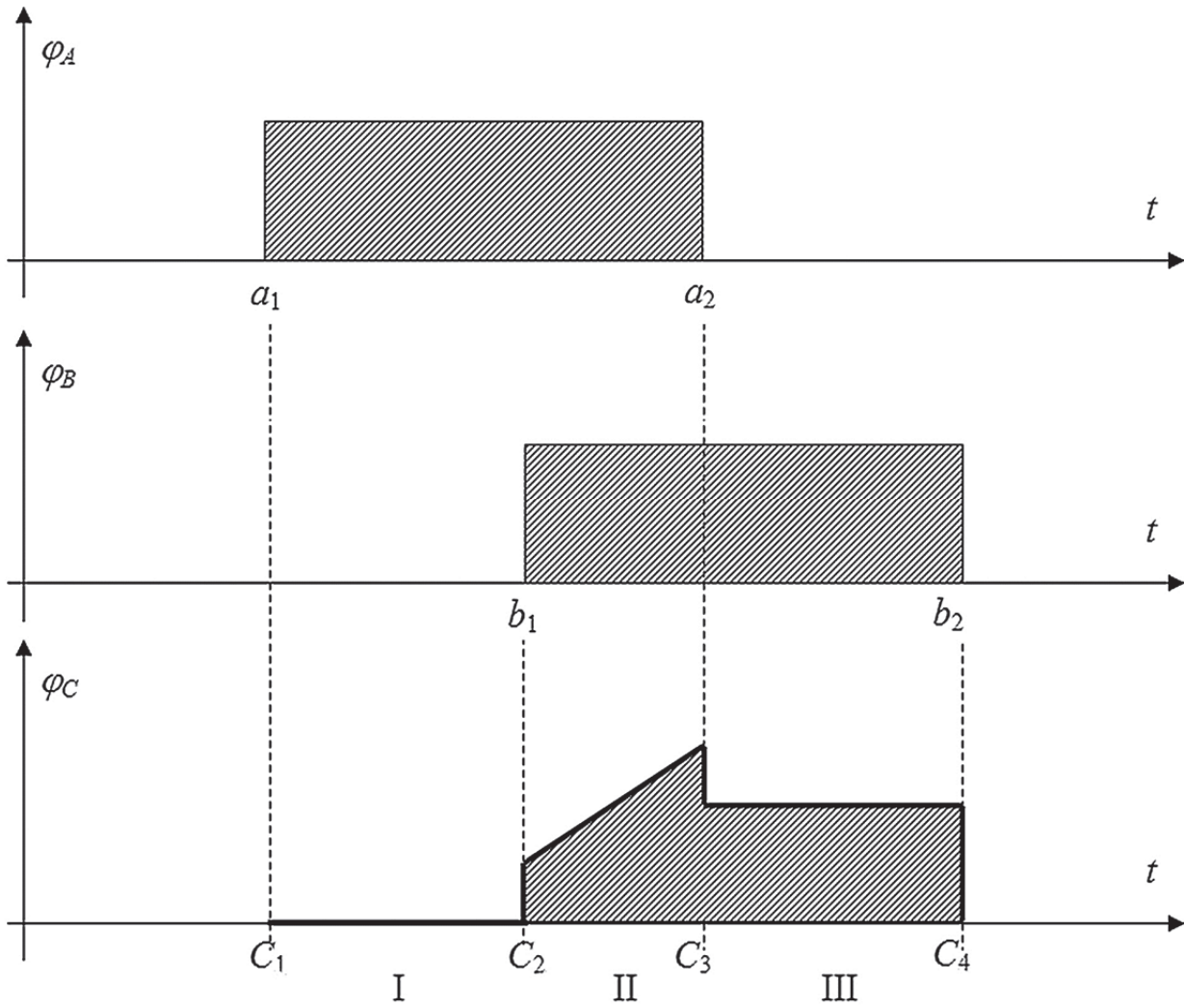


Рис. 3.20. Розподіл імовірності «зустрічі» об'єктів (локомотив, потяг) при рівномірному закону розподілу готовності кожного

$$\begin{aligned}
 \varphi_C &= \frac{1}{a_2 - a_1} \cdot \frac{t - b_1}{b_2 - b_1} + \frac{1}{b_2 - b_1} \cdot \frac{t - a_1}{a_2 - a_1} - \frac{(t - b_1)(t - a_1)}{(a_2 - a_1)^2 (b_2 - b_1)^2} = \\
 &= \frac{(a_2 - a_1)(b_2 - b_1)(t - b_1) + (a_2 - a_1)(b_2 - b_1)(t - a_1) - (t - b_1)(t - a_1)}{(a_2 - a_1)^2 (b_2 - b_1)^2} \cdot (3.48)
 \end{aligned}$$

При цьому, для $t = b_1$

$$\varphi_C = \frac{b_1 - a_1}{(a_2 - a_1)(b_2 - b_1)}, \quad (3.49)$$

а для $t = a_2$

$$\varphi_C = \frac{a_2 - b_1}{(a_2 - a_1)(b_2 - b_1)} + \frac{1}{(b_2 - b_1)(a_2 - a_1)} - \frac{(a_2 - b_1)}{(a_2 - a_1)(b_2 - b_1)^2}. \quad (3.50)$$

На відрізку III імовірність готовності одного з об'єктів (А) дорівнює одиниці, вочевидь значення φ_C на цьому відрізку дорівнює φ_B .

Для перевірки аналітичних розрахунків було виконано імітаційне моделювання «зустрічі» об'єктів за умови рівномірного розподілу моментів готовності кожного з них. Результати моделювання показали повну збіжність з аналітичними розрахунками.

3.4. Метод оптимізації призначень локомотивів

3.4.1. Характеристика методу

Ефективний метод оптимізації планування призначень локомотивів до складу поїздів повинен відповідати наступним вимогам:

- *забезпечувати мінімізацію очікуваних витрат* (зокрема таких, що виникають у зв'язку з несинхронністю готовності локомотивів і составів), враховуючи суттєвий вплив їх статистичної складової. Ця вимога забезпечується використанням критерію статистичного ризику і, зокрема, математичних моделей, які запропоновані в підрозділі 3.3;

- *враховувати динамічний характер процесу* короткочасного планування, постійно корегуючи план згідно зі змінами прогнозу готовності об'єктів перевезень при одержанні інформації про фактичний хід подій;

- *реалізувати інтерактивний підхід*, коли суб'єкт планування – поїзний диспетчер – бере безпосередню участь в формуванні короткочасного плану, спираючись на власний досвід та володіння додатковою інформацією про управлінську ситуацію. Такий підхід потребує зручного середовища інтерактивної взаємодії диспетчера і комп'ютерної системи.

Отже, доречно назвати метод, який буде запропоновано, *методом динамічної інтерактивної оптимізації призначень локомотивів* до складу вантажних поїздів.

Загальний алгоритм методу відображений на рис. 3.21.

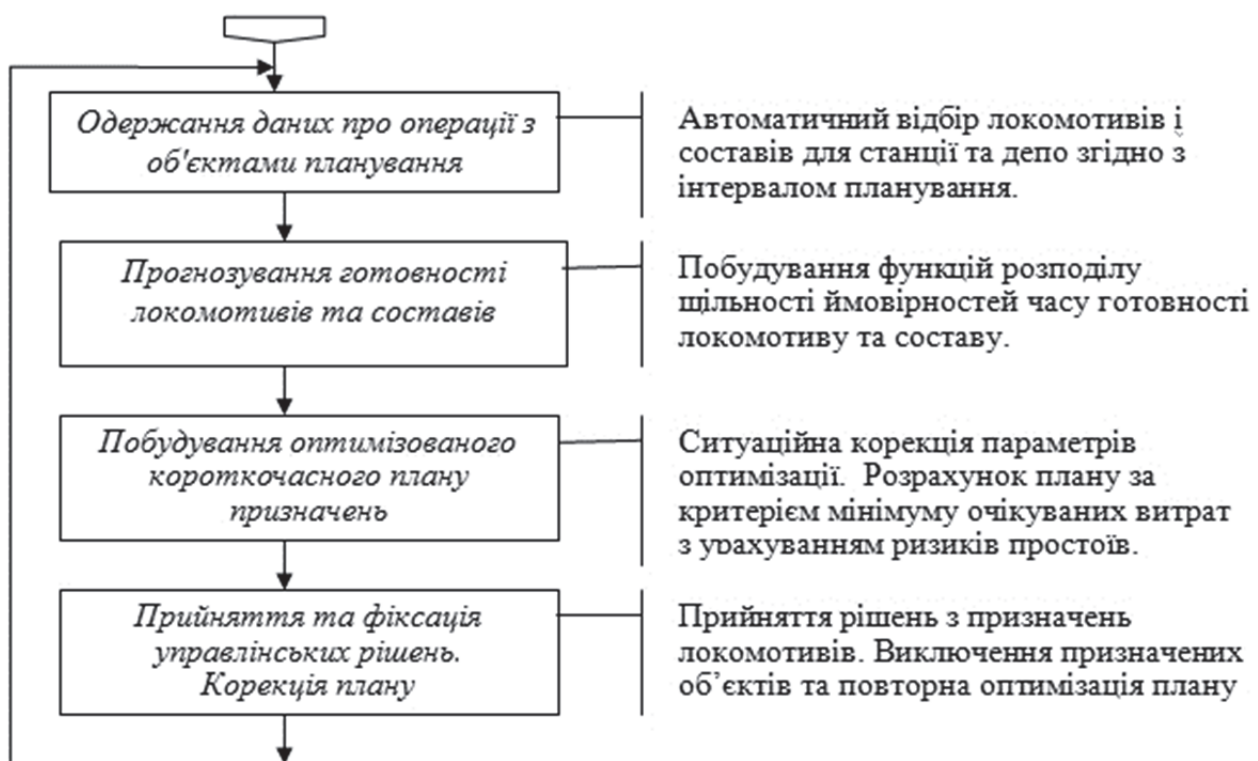


Рис.3.21. Узагальнений алгоритм динамічної інтерактивної оптимізації призначень локомотивів в поїзди

Об'єктом планування є технологічний процес підготовки локомотивів і составів на конкретній станції (станції примикання локомотивного депо). Склад локомотивів та составів, для яких виконується оптимізація, визначається заданим інтервалом планування та прогнозом готовності об'єктів перевезень.

Алгоритм передбачає постійне чергування кроків одержання даних про зміну станів об'єктів планування, прогнозування їх готовності до перевезень, а також побудування поточного варіанту оптимального короткочасного плану призначень локомотивів до складу вантажних поїздів. При цьому поїзний диспетчер приймає поточні управлінські рішення на основі рекомендованого короткочасного плану і разом з тим може на будь-якій стадії впливати на його побудування.

Побудування оптимізованого плану призначень враховує як фіксовану оцінку витрат, що очікуються для конкретного сполучення локомотиву та составу (наприклад, витрат на паливе або електроенергію та на оплату праці локомотивної бригади), так і ризик простоїв. План може враховувати особливості технології відправлення вантажних поїздів – за графіком, або за їх готовністю із врахуванням міжпоїзних інтервалів. Для обох випадків в розділі 3.3 одержані відповідні математичні моделі. Також елементом методу на цьому етапі є алгоритм оптимізації прив'язки поїзда до нитки графіку, який обґрунтований в розділі 3.3.

Динамічність підходу проявляється в тому, що кожна зафіксована подія в ході технологічного процесу, яка змінює прогноз готовності локомотивів та составів, або відображує реалізацію управлінських дій, стає також моментом перегляду оптимізованого плану призначень. Наприклад, коли в динамічній інформаційній моделі перевезень виявляється локомотив, що прямує на станцію планування і буде використаний в поїзній роботі, для нього автоматично прогнозується інтервал часу майбутньої готовності до перевезень. Як тільки такий прогноз опиняється в межах інтервалу планування, даний локомотив включається до плану. Із одержанням інформації про наближення локомотиву, його прибуття на станцію планування, а також завершення певних стадій обслуговування на станції та в депо, прогноз готовності постійно уточнюється. Локомотив виключається із участі в плануванні після його видачі під конкретний поїзд.

Інтерактивний характер оптимізації проявляється в тому, що диспетчер за власною ініціативою може корегувати вхідні параметри планування, а також

рекомендований варіант плану. Зокрема, корекції підлягають пріоритети составів, які плануються для вивезення, та пріоритети використання локомотивів, прогностні інтервали готовності локомотивів та составів. Так, завдання пріоритетів виконується за рахунок корегування параметрів питомих очікуваних витрат (наприклад, якщо певний состав потребує термінового вивезення, то для нього може бути збільшений коефіцієнт питомих витрат на простій составу в очікуванні локомотиву). Якщо зміни вносяться в кінцевий варіант плану (диспетчер приймає рішення про видачу конкретного локомотива під інший состав), це розглядається як зміна вхідних даних і план для составів та локомотивів, які лишилися не розподіленими, перебудовується наново.

3.4.2. Алгоритм динамічної інтерактивної оптимізації призначень

Використання критерію ризику в поєднанні з моделлю «задачі про призначення» дозволяє запропонувати практичний метод автоматизації поточного планування. Алгоритм реалізації його базових функцій показаний на рис. 3.22.

В рамках запропонованого методу поточне планування призначення локомотивів виконується у взаємодії поїзного диспетчера і інформаційної системи. Диспетчер може:

- аналізувати і оцінювати запропонований інформаційною системою план призначень, який динамічно коригується по ходу часу або по настанню впливають на нього подій, а також може бути сформований по команді користувача;
- при необхідності скорегувати налаштування алгоритму (зокрема, варіювати глибину планування і змінювати стандартні параметри використовуваних в розрахунку функцій витрат);
- в потрібний момент взяти і зафіксувати рішення про призначення конкретного локомотива з урахуванням рекомендацій інформаційної системи.

Інформаційна система динамічно виконує:



Рис. 3.22. Схема алгоритму інтерактивної динамічної оптимізації
призначень

- відбір порівнюваних варіантів призначень з урахуванням дотримання безумовних технологічних обмежень і розрахунків для відібраних варіантів фіксованих очікуваних витрат виходячи з ситуації, що склалася, і заданих нормативних даних;

- прогнозування моментів настання очікуваних подій (виходячи зі сформованої на момент ситуації) і оцінку точності прогнозу,

- розрахунків для всіх відібраних варіантів призначень величини ризиків і повних очікуваних витрат, формування матриці витрат S ;

- формування оптимального на даний момент плану призначень на основі рішення «задачі про призначення».

Відзначимо, що розглянутий варіант відображає лише основу практичного алгоритму, який повинен також враховувати особливості взаємодії співробітників диспетчерської зміни (зокрема, дільничних поїзних диспетчерів, локомотивних диспетчерів і чергового по відділенню). Методика колективного рішення задачі повинна стати предметом окремого розгляду.

Однак, наведений алгоритм, як нам представляється, відображає суть методу, що дозволяє ефективно поєднувати досвід диспетчера і можливості інформаційної системи по кількісній оцінці варіантів оперативних рішень, в тому числі і з урахуванням результатів прогнозування. Таке поєднання є важливою передумовою підвищення ефективності вирішення розглянутої задачі.

3.5. Оптимізація оперативного управління експлуатацією локомотивів за допомогою аналітичних серверів

3.5.1. Вимоги до засобів підтримки оптимізації управління

Склад базових функцій підтримки (автоматизації) оптимізації управління експлуатацією локомотивів (ОУЕЛ) обґрунтований в підрозділі 3.1 та відображений на рис.3.21. Далі охарактеризуємо вимоги до їх практичної реалізації (рис.3.23).

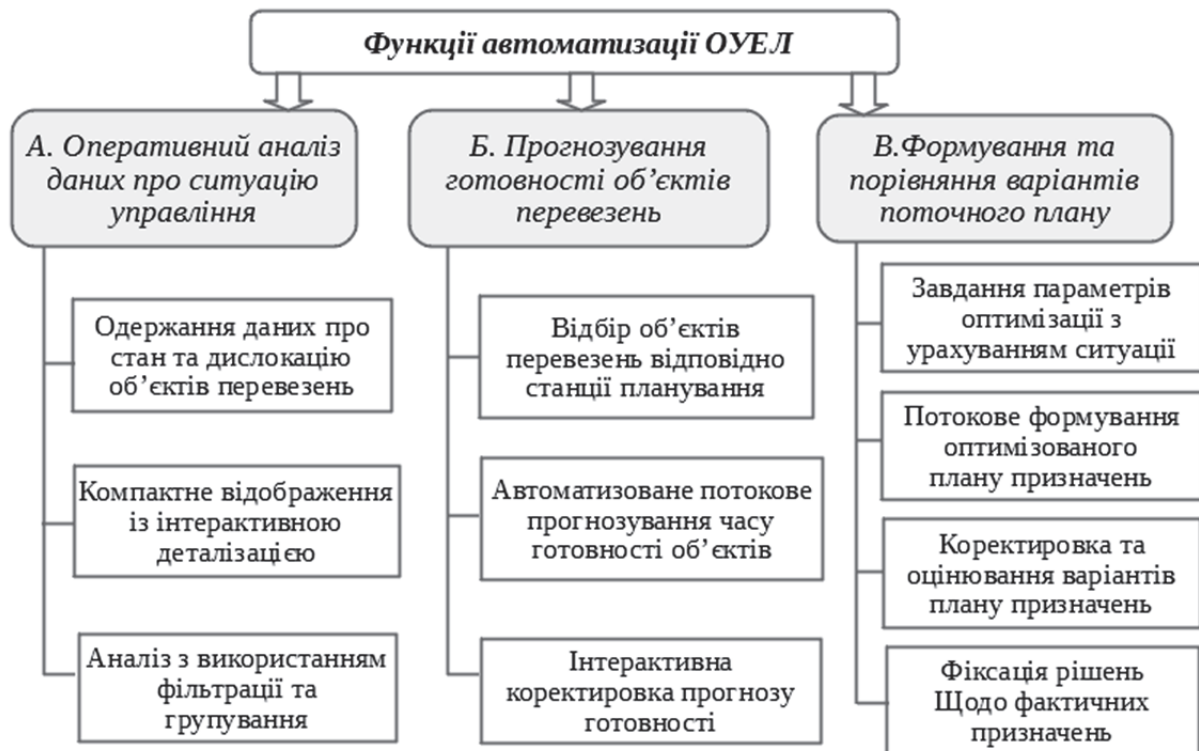


Рис. 3.23. Огляд функцій підтримки ОУЕЛ

Функція *оперативного аналізу даних про ситуацію управління* повинна забезпечити можливості:

- *одержання на робочих містах оперативних даних про фактичний стан та дислокацію об'єктів перевезень* - локомотивів, бригад та составів. Така інформація має поступати із бази даних АСК ВП УЗ-Є, зокрема, підсистем ОКДЛ та ОКДБ, куди вона попадає безпосередньо при реєстрації всіх операцій в ході вантажних перевезень [5, 80]. Задача рішення з автоматизації ОУЕЛ полягає в створенні умов для вільного маніпулювання цими даними з боку персоналу з метою їх зручного та максимально оперативного аналізу;

- *компактне відображення даних з можливістю їх інтерактивної деталізації*. Сучасний спосіб компактного відображення даних для їх зручної оцінки та аналізу передбачає комбінування тексту та графічних елементів, які можуть бути посиланнями на наступні інформаційні блоки. Такий спосіб дозволяє сполучати зручність огляду загальних даних, які характеризують ситуацію в ціло-

му, із швидким одержанням необхідної уточнюючої інформації про будь-який об'єкт «в один дотик» [46, 84];

- *аналіз з використанням фільтрації та групування даних* за сукупністю ознак, які задаються користувачем. На відміну від традиційного одержання довідок з фіксованою структурою в АСК ВП УЗ-Є, відбір та групування даних з використанням широкого набору фільтрів та ознак дозволяє практично миттєво обирати необхідний ракурс аналізу інформації та одержувати її у вигляді таблиць або графічних форм. Найбільш повно подібний підхід реалізований в межах сучасної технології OLAP [13].

Функція *прогнозування готовності об'єктів перевезень* повинна забезпечувати наступні можливості:

- *автоматизований відбір об'єктів перевезень відповідно станції планування*. Для конкретного випадку планування призначень на певній станції із загальної множини даних обираються ті об'єкти, які за прогнозом мають прийняти участь в призначеннях. Сюди належать локомотиви та состави, які уже дислоковані на станції планування, а також ті, що прямують до неї в складі поїздів. Автоматичний відбір має бути доповнений діями персоналу, який здатний більш повно врахувати умови використання об'єктів перевезень в плануванні на конкретній станції;

- *автоматизоване прогнозування готовності з використанням нормативів та методів статистичного прогнозування*. Очікуваний момент готовності локомотиву до роботи в складі поїзда, а також очікувана точність прогнозування повинні розраховуватись із урахуванням нормативів часу виконання операцій вантажних перевезень, а також з використанням методів статистичного прогнозування;

- *інтерактивне корегування прогнозу готовності*. Оскільки в ряді випадків персонал володіє додатковою інформацією про хід перевезень та підготовки об'єктів на станціях, необхідно передбачати можливість ручного корегування прогнозу готовності. Важливою умовою є доступність інформації про внесені корегування для всіх учасників планування (так, наприклад, якщо локомотив-

ний диспетчер за своїми даними корегує прогноз готовності локомотиву, то це повинен враховувати поїзний диспетчер, який безпосередньо формує поточний план призначень).

Функція *формування та порівняння варіантів поточного плану* має включати наступні елементи:

- *завдання параметрів оптимізації з урахуванням ситуації*. Такі параметри включають оцінки витрат, що пов'язані з простоєм локомотивів та составів (зокрема, з урахуванням пріоритетів певних составів), а також довжину інтервалу планування ;

- *формування оптимізованого плану призначень*. Розрахунок поточного плану призначень повинен виконуватись за методом, що запропонований в підрозділі 3.4. Необхідно передбачати зручне відображення плану призначень з можливістю його аналізу персоналом;

- *корегування плану призначень та оцінка скорегованих варіантів*. В окремих ситуаціях персоналу при плануванні необхідно враховувати додаткові фактори та обставини, які не відображені в математичній моделі призначень;

- *фіксація попередніх та кінцевих рішень щодо призначень*. Необхідно передбачити зручний механізм фіксації рішень про призначення локомотивів (попереднє резервування локомотиву, його призначення під поїзд), який дозволить сповіщати про ці рішення учасників ОУЕЛ на всіх рівнях управління, а також автоматично виключати ці локомотиви із подальшого планування.

3.5.2 Технічна реалізація засобів автоматизації оперативного управління експлуатацією локомотивів

Підхід до технічної реалізації автоматизації ОУЕЛ спирається на вимоги архітектури АСУ-Т та АСК ВП УЗ-Є. Узагальнена технічна структура АСУ-Т згідно технічному завданню на створення цієї системи [6], відображена на рис.3.24.

Платформу АСУ-Т складає система АСК ВП УЗ-Є, яка включає інтегровану базу даних про всі об'єкти вантажних перевезень. Фізично її підтримують

потужні сервери бази даних та інше обладнання, що забезпечує надійне збереження інформації у відповідності вимогам до «сховищ даних» [5, 18]. Цей комплекс утворює перший рівень структури системи.

До другого рівню належать сервери застосувань (СЗ), які вирішують різноманітні задачі, виключаючи при цьому зайве навантаження на сервери бази даних [6, 18, 106]. Технічна структура АСУ-Т передбачає застосування різних категорій серверів застосувань, що показано на рис. 3.24.

Саме на цьому рівні знаходиться сервер ОУЕЛ. Оскільки на даному сервері реалізуються процедури, що забезпечують аналітичну підтримку механізму оптимізації (прогнозування, оптимізацію призначення локомотивів в поїзди тощо), цей сервер можна віднести також до класу аналітичних серверів, які описані в розділі 2.3.

На третьому рівні технічної структури рис.3.24 знаходяться комп'ютери користувачів («клієнтські» ПК). Враховуючи функції їх програмного забезпечення (ПЗ), виділяють так званих «товстих клієнтів», які самостійно виконують різноманітну обробку даних з використанням розвинених спеціалізованих ПЗ. Напроти, так звані «тонкі клієнти» спеціалізуються головним чином на відображенні та введенні даних при тому, що обробка останніх виконується головним чином на рівні серверів. На третьому рівні забезпечується інтерактивна робота користувачів за клієнтськими комп'ютерами (рис.3.25).

Виходячи з доцільності використання схеми з «тонкими клієнтами», яка декларується як основна в АСК ВП УЗ-Є, необхідно передбачати максимальне зосередження на сервері застосувань (сервері ОУЕЛ) обробки даних при прогнозуванні готовності об'єктів перевезень та оптимізації планів призначень локомотивів в поїзди. Доречно підкреслити, що основні вимоги до серверу ОУЕЛ відповідають принципам створення аналітичних серверів АСК ВП УЗ-Є, які обґрунтовані в п. 2.5.

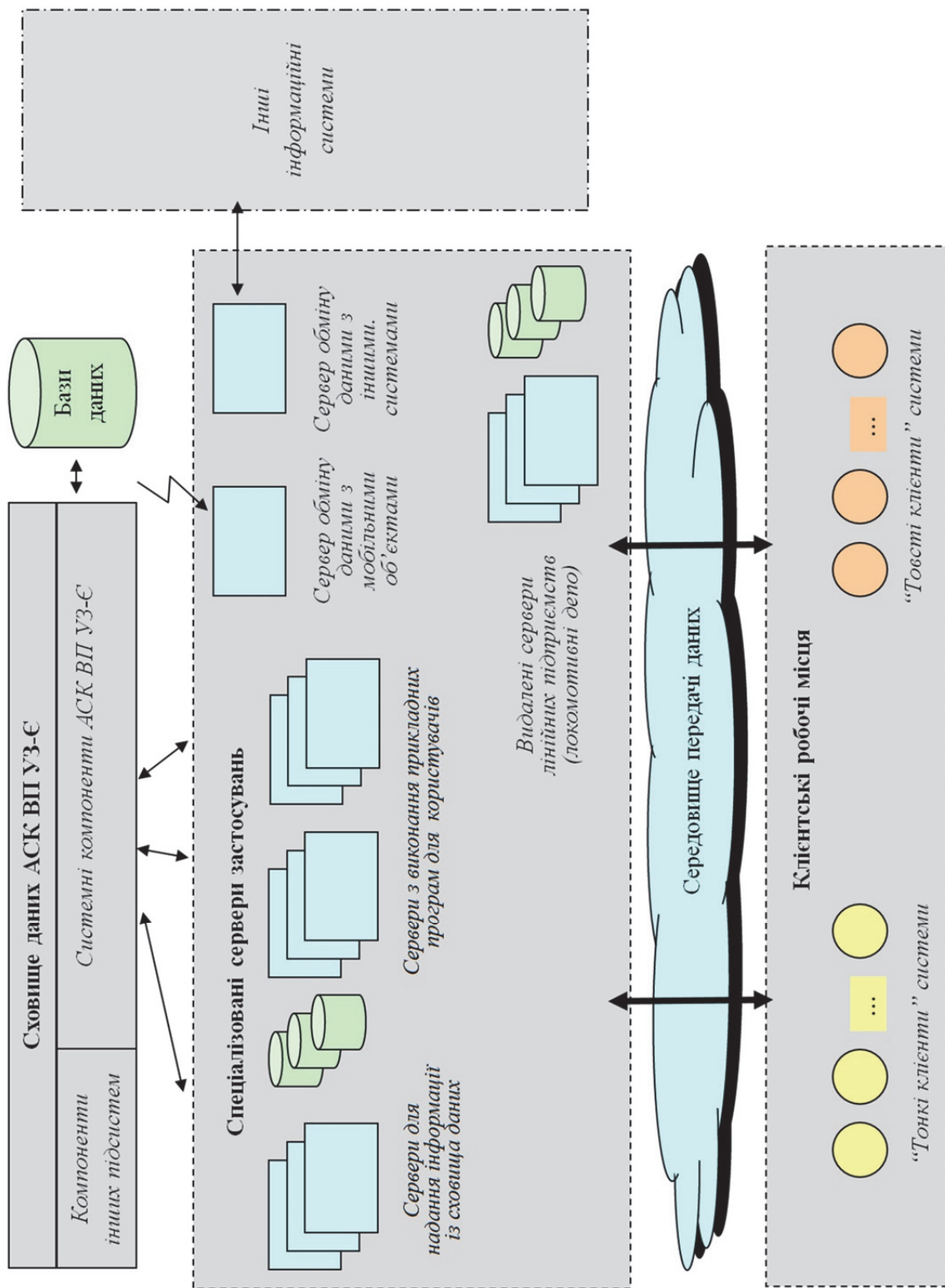


Рис.3.24. Узагальнена технічна структура АСУ-Т



Рис.3.25. Автоматизація ОУЕЛ на базі аналітичного серверу АСУ-Т

3.5.3. Реалізація функцій серверу ОУЕЛ

Практична реалізація загальносистемних та прикладних функцій серверу ОУЕЛ згідно підходам, які були обґрунтовані вище, описана зокрема в документах [2,3,4]. Далі наводиться характеристика основних функцій серверу ОУЕЛ з позицій вимог, які обґрунтовувались в п.3.5.1.

Підтримка оперативного аналізу ситуації управління

Оперативний аналіз ситуації управління на полігоні, що підпорядкований користувачу, виконується з використанням інтерактивної форми «Стан та дислокація локомотивів», яка включає інтерактивну таблицю стану локомотивів та відповідну панель управління

До таблиці автоматично обираються дані про об'єкти, які відповідають сукупності ознак, заданих користувачем з використанням фільтрів (зокрема, виду та приписки локомотивів, їх поточного стану та дислокації, характеристик бригад – рис.3.26). Таким чином забезпечується гнучкість аналізу.

Більш детальна інформація про локомотив, бригаду чи поїзд одержується «в один дотик» завдяки використанню «спливаючих» вікон. Це забезпечує сполучення компактності відображення та його інформативності.

Стан та дислокація локомотивів

Вид та приписка ТРС

вид тяги:

Усі

серія:

Усі

залізниця приписки:

Усі

дирекція приписки:

Усі

депо приписки:

Усі

Дислокація

залізниця дислокації:

Придніпровська, 45

дирекція дислокації:

ДН-1, ДНІПРОПЕТРОВСЬК

диспетчерська ділянка:

Усі

коди станцій:

450003

коди депо:

локомотиви на підході

☒

Стан

на станції/на ділянці/в депо:

Усі

тип парку:

Усі

у потязі/поза потягом:

у потязі

поточний стан:

Усі

Відобразити

Рис.3.26. Панель вибору поточної інформації про стан локомотивів

Разом з деталізацією інформації про стан об'єктів планування передбачене її узагальнення: форма забезпечується графічне відображення розподілу відібраної множини локомотивів за встановленими ознаками.

Разом з поточною ситуацією управління можливе одержання даних про ситуацію, яка мала місце в заданий час в минулому, а також про історію операцій з певним локомотивом.

Таким чином, реалізація функції підтримки оперативного аналіз ситуації управління відповідає вимогам, що встановлені в п.3.5.1.

Прогнозування готовності об'єктів перевезень

Підтримка такого прогнозування виконується з використанням двох інтерактивних форм: «Готовність локомотивів» та «Готовність составів»

Приклад вигляду інтерактивної форми «Готовність локомотивів» відображений на рис.3.27.

Основу форми складає інтерактивна таблиця, де відображуються усі локомотиви – кандидати на виконання роботи з поїздами на полігоні, що підпорядкований користувачу. В таблиці поряд з характеристиками локомотивів відображуються результати прогнозування їх готовності до виконання переве-

зень, а також результати управлінських рішень персоналу щодо їх використання в майбутньому. Автоматичне прогнозування готовності локомотивів виконується відносно поточного моменту на базі методики, яка описана в підрозділі 3.4. Додатково передбачена можливість корегування прогнозу з боку персоналу з використанням відповідної панелі.

		Факт/Прогноз готовності		Використання	
	Час після ТО-2	Готовність	Дата-час ↕		
		всі		всі	
	7426 год. 16 хв.	готовий	30.05.2009 15:24	ДНЦ-1-45 (3)	
	3914 год. 1 хв.	очікується	30.05.2009 14:24 ±15хв.	ДНЦ-1-45 (3)	
	7345 год. 26 хв.	очікується	встановлення... ±15хв.	ДНЦ-1-45 (3)	
Прогноз готовності локомотиву дата-час готовності: 30.05.2009 13:26 допуск прогнозу (хв.): 15 11:26 13:26 15:26 запам'ятати відмінити					
	5хв.	ДНЦ-1-45 (3)			
		ДНЦ-1-45 (3)			
	хв.	ДНЦ-1-45 (3)			
	хв.				
	9хв.				
	1хв.	ДНЦ-1-45 (3)			
	2хв.	ДНЦ-1-45 (3)			
	1907 год. 56 хв.	очікується	25.03.2009 15:21 ±10хв.	ДНЦ-1-45 (3)	
	2170 год. 11 хв.	очікується	25.03.2009 14:51 ±11хв.	ДНЦ-1-45 (3)	

Рис. 3.27. Приклад вигляду форми «Готовність локомотивів»

Приклад вигляду інтерактивної форми «Готовність составів» відображений на рис. 3.28. Форма включає таблицю стану составів, які мають бути вивезені зі станції планування, або її «супутників» – вантажних станцій, які належать до того ж полігону управління. Оскільки нині інформація про хід навантаження составів досить часто одержується в АСК ВП УЗ-Є із значними затримками, форма передбачає інтерактивне введення та корегування відомостей про такі состави персоналом. Як і у випадку локомотивів, прогнозування готовності составів поєднує елементи автоматизації (для составів, які слідують в складі поїздів) та інтерактивне введення або корегування прогнозу персоналом (поїзниками диспетчерами).

Станція: напрямок:

інтервал часу планування: з 31.05.2009 09:59 - 7 год.

	Состав					Час готовності состава (прогноз/факт) ⚙
	Тип	Призн.	№ поїзда	ст. операції	Вага (т)	
станція готовності: 45000						
☐ зміна локомотиву	48040	1902	450605	5345		30.05.2009 15:58 ±2хв.
☐ зміна локомотиву	61740	6174	451100	448		30.05.2009 15:55 ±1хв.
☐ зміна локомотиву	50620	2056	451504	5440		30.05.2009 15:55 ±1хв.
☐ зміна локомотиву	45060	3702	451100	475		30.05.2009 15:53 ±1хв.
☐ накопичення	40000			1256	17	28.05.2009 12:59 ±8хв.
☐ накопичення	41000			3212	42	28.05.2009 12:55 ±7хв.
☐ накопичення	40070			2654	34	28.05.2009 12:55 ±5хв.

↑

новий состав:

ст. готовності

Рис.3.28 Приклад вигляду форми «Готовність составів»

Формування поточного плану призначень

Середовищем для одержання поточного плану призначень є інтерактивна графічна форма «Призначення локомотивів до составів».

Форма складається з двох секцій – відображення стану локомотивів та составів, до яких згодом призначаються локомотиви. При цьому кожному з об'єктів відповідає інформаційний блок, що відображує його характеристики, а також часова діаграма, де показаний прогнозований інтервал готовності локомотивів та составів. На часових діаграмах відображуються результати прогнозування інтервалів готовності локомотивів та составів.

Елементи панелі управління, а також управляючі елементи в інформаційних блоках дозволяють задавати необхідні параметри для розрахунку плану призначень: інтервал планування, параметри вартості простою локомотивів та составів, пріоритетність вивезення составів. Користувачу також надається можливість за допомогою графічних елементів (слайдерів) корегувати прогноз готовності об'єктів перевезень.

Згідно встановлених параметрів може бути виконаний розрахунок оптимального плану призначень, який мінімізує сумарні витрати. Результати планування можна бачити на формі як переміщення локомотивів до відповідних составів. Крім того відображується матриця витрат, на якій сполучення локомотива та состава виділяється зеленим кольором, а також очікувані сумарні витрати на перевезення.

Корегування плану призначень з урахуванням додаткових обставин, які відомі персоналу, але не відображені в інформаційній моделі серверу ОУЕЛ, може виконуватись як інтерактивне переміщення зображень локомотивів від одного составу до іншого. Кожне таке переміщення викликає новий розрахунок витрат, які відображуються в нижньому правому куті форми і в полі «сумарні витрати – наявний план». При цьому відображення даних про оптимальний план зберігається, отже існує можливість наочного порівняння одержаних варіантів.

Управлінські рішення, які приймаються на основі таких розрахунків, фіксуються завдяки графічним елементами управління: переключення користувачем кольору індикаторів в інформаційних блоках составів фіксує, чи буде обраний локомотив зарезервований або призначений під даний состав (рис.3.28). Стан таких індикаторів автоматично відображується в формі готовності локомотивів, яка доступна всім учасникам планування (рис.3.27).

Настройка параметрів автоматизованих робочих місць

Для реалізації функцій адміністрування серверу ОУЕЛ використана система управління контентом CMS'KA.

Зокрема, функція управління користувачами дозволяє створити та налаштувати параметри робочого місця: посаду та індивідуальні реквізити користувача, склад задач, які він має використовувати, його повноваження щодо прийняття управлінських рішень і елементи підпорядкованого полігона управління (рис.3.29).

Назва посади	Поїздний диспетчер дирекції	☐
Абревіатура посади	ДНЦ-1-45 (2)	☐
задача: Стан та дислокація поїздів з локомотивами	yes	☐
задача: Готовність локомотивів	yes	☐
задача: Призначення локомотивів у поїзди	yes	☐
задача: Показники - введення	no	☐
задача: Показники - перегляд	no	☐
повноваження: Відбір локомотивів для роботи в поїздах	no	☐
повноваження: Відбір поїздів для зміни локомотивів	yes	☐
повноваження: Виділення локомотивів поїздним диспетчером	yes	☐
повноваження: Прогнозування готовності локомотива	yes	☐
повноваження: Призначення локомотивів в поїзди	yes	☐
повноваження: Прогнозування готовності составів	yes	☐
полігон: Залізниця	45	☐
полігон: Дирекція	54	☐
полігон: Диспетчерська ланка	8	☐
полігон: Станція (одна або декілька)		☐
полігон: Депо (одне або декілька)	4501, 4507	☐
полігон: Станція готовності локомотивів (з напрямком)		☐
полігон: Дирекція	Придніпровська, ДНІПРОПЕТРОВСЬКА, ДН-1, 1	☐
полігон: Диспетчерська ланка	102, СИНЕЛЬНИКОВ	☐

Рис.3.29 Забезпечення настройки АРМ в середовищі серверу ОУЕЛ

ГЛАВА 4

УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПАРКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ

4.1. Технології автоматизованої експлуатації парків електродвигунів

В даний час одним із пріоритетних завдань на залізничному транспорті України є всебічне зменшення експлуатаційних витрат і підвищення ефективності процесів автоматизованої експлуатації парків технічних систем (ТС) [16, 34, 38, 77]. В подальшому в якості об'єктів аналізу розглянуті парки електродвигунів (ЕД) постійного струму, що використовуються в залізничних стрілочних переводах – високо відповідальних системах управління процесами перевезень. Зазначимо, що електродвигуни широко використовуються в промисловості і на транспорті. Так зараз на Українських залізницях (УЗ) експлуатується близько 30 тис. ЕД, на Південно-Західній залізниці – понад 6500 ЕД. Нещодавно на Придніпровській залізниці було встановлено: стрілочних приводів – близько 8000 шт., автоматичних шлагбаумів понад 100 шт. Питання підвищення ефективності методів і засобів експлуатації залізничної автоматики, в нашому випадку електричних двигунів стрілочних переводів (надалі – просто електричні двигуни чи електродвигуни, ЕД), були і залишаються в центрі уваги багатьох дослідників. Це зв'язано і з тим, що стрілочні переводи знаходяться на другому (після рейкових кіл) місці в ряду відмов базових елементів електричної централізації (ЕЦ). В даний час на УЗ технічне обслуговування стрілок електричної централізації виконується за графіком планово-попереджувальних робіт (ППР), згідно [38]. Обслуговування виконується електромеханіком і електромонтером, які перевіряють стан електроприводу і елементів СП візуальним оглядом. Технологія ППР передбачає періодичне обстеження, яке відбувається відповідно до складеного графіка. Процедури оцінки поточного стану передбачають вилучен-

ня ЕД із реальних процесів функціонування, що може вплинути на оцінки параметрів стану ТС. Також недоліками існуючої технології обслуговування СП являються значні витрати часу, виконання операцій в ручному режимі, значна роль людського фактору. Разом з цим відсутній безперервний контроль параметрів СП, що унеможливорює своєчасне виявлення та ліквідацію несправностей. Негативними факторами ППР є недостатня кількість параметрів, які перевіряються, візуальне визначення і контроль показань при вимірюваннях робочого струму, роботи стрілки ін. Зауважимо, що діючі на УЗ процедури з обслуговування ЕД, по суті не можуть бути безпосередньо віднесені до «парку ЕД» як деякого цілісного самостійного об'єкту експлуатації. В значній мірі це процедури експлуатації окремо взятих ЕД, незалежно від стану і властивостей інших технічних систем, ЕД. Певні відмінності між ЕД встановлюються виходячи з місця розміщення на залізничних ділянках, що відповідає різній інтенсивності вичерпання ресурсу.

У роботах [77, 95, 101] представлена інтелектуальна автоматизована система, яка призначена для забезпечення управління процесами експлуатації парків ЕД на основі отримання оцінок параметрів їх поточного стану, без вилучення пристроїв з виробничих процесів. В [45, 56, 77] був проведений збір інформації про відмови обладнання на підставі даних експлуатації ЕЦ Придніпровської та інших залізниць, також фіксувалися характер і причина відмов. Як зазначено в [16, 56, 101], існуючі методи, системи контролю та діагностики електроприводів стрілок ЕЦ не дозволяють виявляти багато несправностей ЕД. Слід враховувати, що відмови електроприводів становлять понад 28% із загального числа відмов ЕЦ, а частка відмов у електродвигунах постійного струму стрілочних електроприводів становить від 19 до 25% [45]. Хоча відмови автоперемикачів мають більшу частку, але на відміну від ЕД вони досить повно перевіряються електромеханіком при планових діагностичних роботах [38, 101]. Аналіз свідчить, що перехід до автоматизованої експлуатації парків ЕД є економічно вигідним, дозволяє підвищити надійність стрілочних електроприводів, навіть з урахуванням відмов, які проявляються лише при приробітку стрілочного пере-

воду. При цьому також зменшується термін перебування персоналу в зонах підвищеної небезпеки на залізничних коліях, автоматизуються процеси підтримки діагностування ЕД ін.

Такий висновок повною мірою відповідає світовим тенденціям щодо впровадженню систем дистанційного діагностування та створення автоматизованих робочих місць (АРМ) [16, 34, 94]. Як приклади застосування сучасних автоматизованих систем дистанційного діагностування парків ЕД (АСЕД) на рис. 4.1, рис. 4.2 представлені спектральні характеристики струмів ЕД залізничних СП моделей МСП-0,25, які відповідають їх різним несправностям. Види несправностей ЕД визначалися експертом по методиці [77, 101]. На спектрограмах по осі абсцис відкладено час, по осі ординат - частота гармонік спектра.

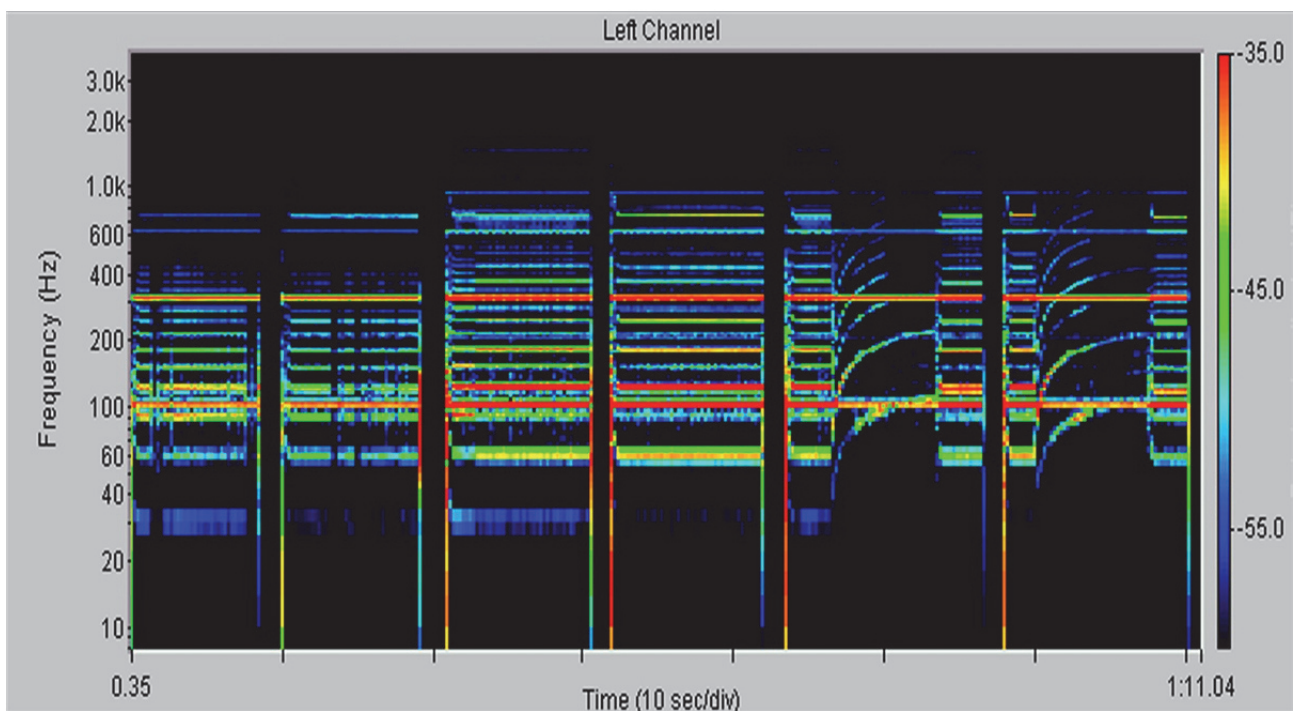


Рис. 4.1. Спектрограма двигуна моделі МСП-0,25: два обриви якоря і коротке замикання пластин колектору

Відзначимо, що сукупність несправностей рис. 4.1, рис. 4.2 виявлена тільки за допомогою розрахунків на основі аналізу спектрів струмів, а не статичними методами вимірювань (омметра, трансформатора, імпульсний ін.).

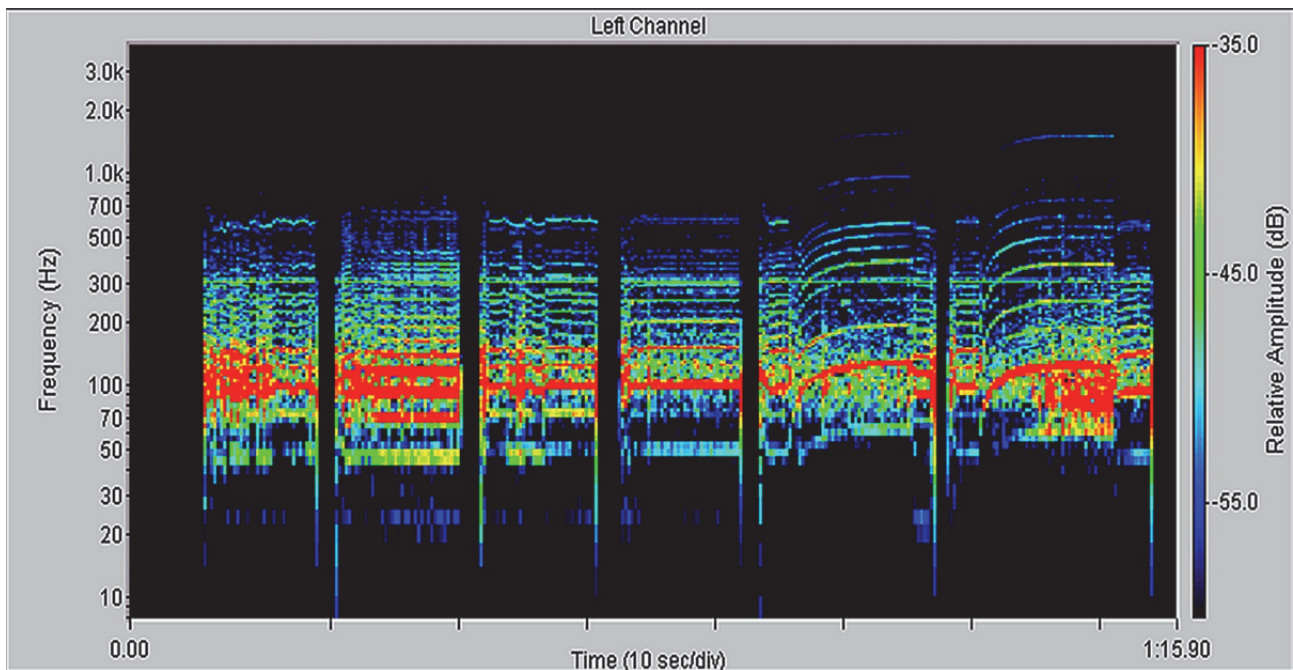


Рис. 4.2. Спектрограма двигуна МСП-0,25: чотири місця обриву секцій якоря

Роботи [16, 56, 85, 88, 94] містять результати із створення інтелектуальної автоматизованої системи, що забезпечує управління процесами експлуатації парків залізничних ТС (електричних двигунів) на основі отримання оцінок параметрів їх поточного стану, без вилучення пристроїв з виробничих технологічних процесів. Досліджено кілька завдань щодо удосконалення автоматизованих систем управління експлуатацією парків електричних двигунів залізничних стрілочних переводів: урахування вектору показників, за якими оцінюється ефективність процесів експлуатації, розділення процедур визначення черговості діагностування технічних систем і їх ремонтів, урахування різної відповідальності окремих залізничних ділянок і систем що їх обслуговують, формування моделі автоматизованого управління парком, з урахуванням координації підсистем і розвитку автоматизованої системи, застосування інтелектуальних методів аналізу та управління на основі нейронних мереж, а також методів екстраполяційного прогнозування часових і технічних характеристик ін. Удосконалення методів діагностики та експлуатації електродвигунів стрілочних переводів є актуальним завданням, яке спрямоване на зменшення експлуатаційних ви-

трат, збільшення надійності стрілок і підвищення безпеки залізничного транспорту, в першу чергу в умовах запровадження високошвидкісного руху поїздів.

Метою розділу являється визначення та представлення сучасних напрямів розвитку та вдосконалення інтелектуальних засобів автоматизованих систем експлуатації парків залізничних технічних систем, з урахуванням факторів невизначеності. При цьому розглядається парк ЕД постійного струму стрілочних переводів. Вирішення завдань базується на формуванні моделей та методів оптимального планування процесів експлуатації множини ЕД. Методи керування парками електродвигунів (ПЕД) використовують інформаційні технології з оцінками параметрів поточних і прогнозованих станів ЕД на основі їх індивідуальних моделей (ІнМ) процесів експлуатації. Моделі формуються як для окремих ЕД, так і для заданих груп. У ІнМ накопичується інформація про стани та властивості ЕД на попередніх етапах їх експлуатації. Також в ІнМ представлені прогнозні характеристики станів ЕД на певний період, в яких чинники недетермінованості враховуються на основі показника Херста [94, 95].

У розділі, виходячи з практики обслуговування парків ЕД на залізницях України, запропоновані кілька категорій об'єктів аналізу ПЕД, в тому числі нова – група ЕД, що обслуговування (ГЕД) [91]. В [88] для підвищення достовірності прогнозування за індивідуальними моделями ЕД використовуються інтелектуальні процедури багатовимірної лінійної екстраполяції (БЛЕ). У цьому дослідженні застосована нова процедура класифікації недетермінованих процесів, що використовує показник Херста [34, 91, 94]. Сформульовано технологічно-економічну модель з планування процесів експлуатації ПЕД. У цілому в розділі наведено результати розробок із розвитку інтелектуальних АСЕД на основі удосконалення ІнМ та моделі планування процесів експлуатації парків стрілочних ЕД постійного струму. Модель оптимального планування забезпечує мінімізацію очікуваних витрат на експлуатацію парку ЕД, за рахунок вибору послідовності обслуговування як окремих ЕД, так і певних ГЕД.

4.2. Завдання оптимального планування процесів експлуатації парку електродвигунів

У розділі 1.1. було приведене змістовне завдання автоматизованого управління експлуатацією парку ЕД, указано його зв'язок з технологіями функціонування і методиками обслуговування ТС парків, відзначено характеристики властивостей, значення яких вказують на їх деякий «поточний» стан. Також були зазначені ресурси різних категорій, необхідні для експлуатації парку об'єктів. Указана необхідність створення індивідуальних моделей процесів експлуатації ЕД, дані яких використовуються для виявлення несправних станів об'єкта, а також для визначення видів несправності і отримання оцінок достовірності. Як важливими зазначені завдання прогнозування можливих змін технічного стану елементів ТС, а також розрахунку раціональної черговості діагностики та обслуговування об'єктів парку.

Загальна схема автоматизованого оптимального планування та управління експлуатацією парків ЕД може бути представлена як реалізація послідовності таких завдань: - утворення груп ЕД парку, формування індивідуальних моделей процесів експлуатації стрілочних ЕД, ІнМ для ГЕД; - дистанційне вимірювання, моніторинг, спектральний аналіз робочих струмів, діагностування поточних станів ЕД; - оцінка параметрів і станів інфраструктури, класифікація ІнМ окремих ЕД, а також їх ГЕД. прогнозування характеристик станів об'єктів парку; - формування оптимального плану керування за рахунок вибору послідовності обслуговування груп ГЕД; - реалізація управління поточного етапу Т, облік в інформаційних моделях результатів робіт з експлуатації парку ЕД; - корегування індивідуальних моделей ЕД, ГЕД, а також парку в цілому.

Для реалізації наведеної схеми процедури планування стало необхідним потрібно ввести нову категорію моделей групових властивостей об'єктів ГЕД. Зазначимо, що при заданих множинах груп ЕД, що одночасно включаються в план обслуговування, виникає завдання по оцінці характеристик ГЕД, представлених часовими рядами (ЧР), на основі властивостей окремих ЕД. З урахуван-

ням вимог забезпечення надійності транспортних систем параметри ГЕД визначаються на основі функцій $\max/\min$. Оскільки на різних етапах обслуговування реалізація функцій розрахунку групових властивостей ГЕД може бути на різних двигунах, то поведінка ЧР групових властивостей може мати складний недетермінований характер [91, 95]. Часові ряди, які представляють зміни групових властивостей, можуть бути досить складними, в тому числі антиперсистентними [91], як і послідовності значень рівнів ЧР окремих ЕД. Автоматизоване оптимальне планування процесів експлуатації парків ЕД потребує дослідження та прогнозування характеристик недетермінованих ЧР, які формуються в ІнМ ЕД.

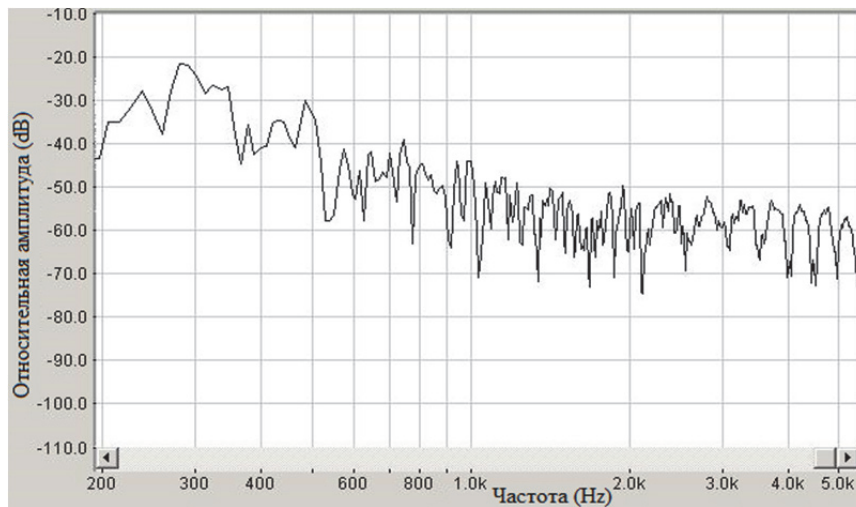
4.3. Автоматизована технологія діагностування і управління експлуатацією парку електричних двигунів

4.3.1. Загальна структура системи дистанційного моніторингу парку електродвигунів

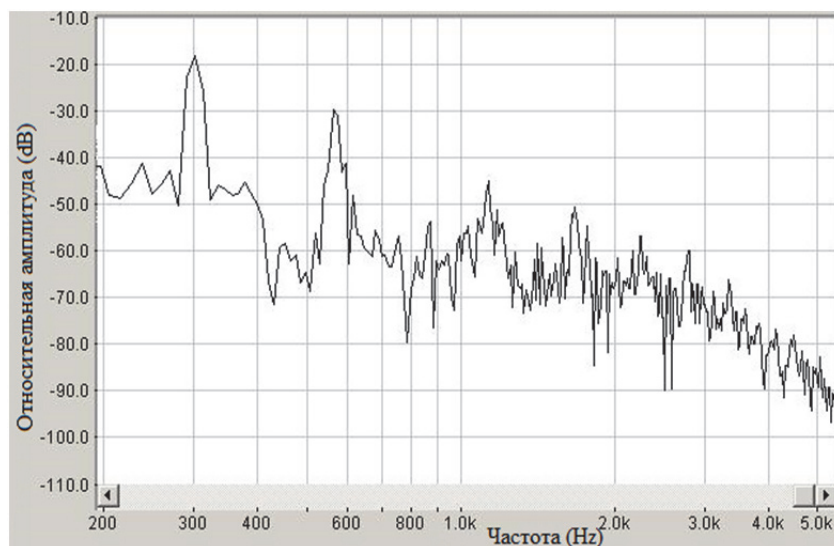
Розглянемо елементи структури та функції системи автоматизованої експлуатації парків технічних систем за параметрами поточного стану та інфраструктури. В цілому технологія і структура автоматизованої системи дистанційного діагностування ЕД реалізована на основі аналізу спектру струму в умовах робочих навантажень, а також застосування штучних нейронних мереж (ШНМ) Кохонена [94, 113]. Основні елементи і процедури технології забезпечують достовірне вирішення досить значної кількості базових завдань дистанційного діагностування ЕД, спектрального аналізу струму, моделювання процесів класифікації дефектів та відображення їх розвитку, що виконується за допомогою ШНМ тощо.

На рис. 4.3 надано приклади графіків спектрів струму ЕД моделі МСП-0,25, як приклади типових вихідних даних для систем нейронно-мережевого моделювання, для таких типів несправностей, як коротке замикання секції якоря та коротке замикання пластин колектора. Подібні графіки спектрів струму

відповідають іншим несправностям ЕД (круговий вогонь по колектору, обрив секції якоря тощо) [45, 77].



а)



б)

Рисунок 4.3. Графік спектра струму електродвигуна моделі МСП-0,25:

а) коротке замикання секції якоря; б) коротке замикання пластин колектора

Для електродвигунів СП можливий моніторинг технічного стану без вилучення зі стрілочного переводу. Для цього кабелі, що живлять стрілочні двигуни, зводяться на станції в релейну. При знятті кривої струму електродвигуна в релейній можливий постійний контроль технічного стану всіх стрілочних ЕД

станції. У релейній виконуються процедури аналізу токів ЕД, отриманих в умовах робочого навантаження. Модель автоматизованої технології діагностування двигунів постійного струму заснована на аналізі частотного спектру робочого струму двигуна. Схематично багаторівнева система управління діагностуванням складається із упорядкованої системи блоків.

В основі системи – кабелі управління СП, які вводяться у «концентратор», релейну. Отримані сигнали передаються на дискретизацію. В модулі аналого-цифрового перетворювача (АЦП) реалізується дискретизація струму ЕД, а отримання спектральних характеристик струму виконано за допомогою швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) [101]. Вхідними даними модуля моніторингу ЕД є частотний спектр струму ЕД, розрахований в блоці ШПФ. Для кожного ЕД формується індивідуальна модель (ІнМ), яка також зберігає спектральні характеристики справного стану двигуна. Модуль моніторингу порівнює спектр, отриманий з блоку ШПФ, зі спектром справного стану, прочитаного з відповідної індивідуальної моделі ЕД. При виявленні їх істотних відмінностей виконується модуль діагностування. На виході модуля діагностування отримують оцінки достовірності виявлених несправностей електродвигуна. Ці оцінки зберігаються в ІнМ ЕД, формуючи часовий ряд, який використовується для прогнозування технічного стану електродвигуна. Поточний і прогнозований технічний стан кожного ЕД з модуля діагностування передається в модуль черговості ремонту електродвигунів, який дає рекомендації про порядок ремонту ЕД.

Завдання з автоматизації управління процесами експлуатації парку ЕД з контрольованими поточними станами вирішується на основі побудови дворівневої нейронно-мережевої моделі (карти Кохонена [88, 113]). В ній моніторинг станів ЕД і аналізу їх динаміки реалізується в рамках індивідуальної моделі двигуна (ІнМД). Загальна модель керування експлуатацією парку ЕД, полягає в об'єднанні можливостей індивідуальної моделі зміни станів ЕД з моделлю експлуатації всього парку [77, 81]. Одночасно з використанням моделі парку (МП) контролюються можливі зміни поточного стану ЕД, що відображають відповідні різні типи несправностей. Процедура моніторингу порівнює спектр справно-

го стану ІнМ зі спектром, отримаєм з блоку ШПФ, і при виявленні їх «істотних відмінностей» виконується модуль діагностування несправностей ЕД. На виході модуля діагностування отримують типи виявлених несправностей, а також оцінки достовірності цих подій. Розраховані спектри та оцінки зберігаються в ІнМ ЕД, формуючи упорядковану послідовність спостережень, зокрема - часовий ряд. Ці дані далі використовуються для прогнозування параметрів технічного стану ЕД в процедурах планування ремонтів та ін. Значення параметрів поточного стану кожного ЕД і прогнозовані (за даними ІнМ) на заданий часовий інтервал використовуються для визначення раціональної черговості ремонту електродвигунів, враховуючи інформацію про парк в цілому.

4.3.2. Моделі нейронних мереж у завданнях управління парками електродвигунів

В системі автоматизації АЕПЕД передбачена побудова моделі статистичних даних про процеси експлуатації, як карти ознак Кохонена [113]. Зміна розташування відображення поточного стану на карті Кохонена характеризує динаміку процесів, в даному випадку – виробітку ресурсу ЕД і необхідності проведення відповідного несправностям ремонту.

Мережі Кохонена (self-organizing maps = SOM, Kohonen maps) або карти що самоорганізуються призначені для вирішення завдань автоматичної класифікації, коли навчальна послідовність образів відсутня [113]. SOM – це двошарова нейромережа, що містить вхідний шар (шар вхідних нейронів) і шар Кохонена (шар активних нейронів). Шар Кохонена (L-S) може бути: одновимірним, двовимірним, як у даній роботі, або тривимірним.

Принцип роботи SOM наведено на рис. 4.4, на якому наведено приклад топологічної карти SOM, що містить вхідний шар з n вхідних нейронів і шар Кохонена з m вихідних нейронів, розташованих у вигляді прямокутника. Нейрони вхідного шару служать для введення значень ознак розпізнаваних образів. Активні нейрони L-S призначені для формування областей (кластерів) різних класів образів, причому число цих кластерів апріорі невідомо. На рис. 4.4 пока-

зані зв'язки всіх вхідних нейронів лише з одним нейроном шару Кохонена. Кожен нейрон про шарку Кохонена з'єднаний також з сусідніми нейронами.

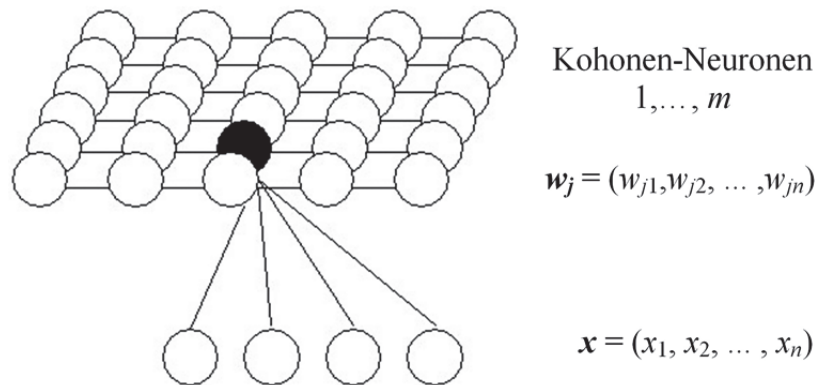


Рисунок 4.4. Топологічна карта мережі Кохонена з n вхідними і m вихідними нейронами:

Введемо наступні позначення:

– вектор вагових коефіцієнтів j -го нейрона шару Кохонена

$$w_j = (w_{j1}, w_{j2}, \dots, w_{jn})^T, \quad j = 1, 2, \dots, m; \quad (4.1)$$

– вхідний вектор і вектор значень ознак вхідного образу

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \quad (4.2)$$

На стадії навчання (самонавчання) SOM вхідний вектор x_c попарно порівнюється з усіма векторами w_j всіх нейронів шару Кохонена. Вводиться функція близькості (евклідова відстань). Активний нейрон з номером c шару Кохонена, для якого значення функції близькості $d(x, w^c)$ між вхідним вектором x , що характеризує деякий образ, і вектором w_c максимально, оголошується «переможцем». При цьому образ, який характеризується вектором x , відноситься до класу, який представляється нейроном-«переможцем». У результаті здійс-

нюється перетворення n -мірного вхідного простору R_n на m -мірну сітку (шар Кохонена).

По завершенні процесу самонавчання на стадії реального використання мережі Кохонена невідомі вхідні образи відносяться до одного з виявлених кластерів (класів).

При визначенні відстані між вхідним вектором $\mathbf{x}$ (4.2) і ваговим вектором $\mathbf{w}_j$ (4.1) j -го нейрона шару Кохонена використовують різні функції близькості (зазвичай евклідова відстань). При цьому «виграє» нейрон c з ваговим вектором $\mathbf{w}_c$, найбільш близьким до вхідного вектора $\mathbf{x}$:

$$[\mathbf{x} - \mathbf{w}_c] = \min_j [\mathbf{x} - \mathbf{w}_j] \quad (4.3)$$

При використанні скалярного добутку для нормованих векторів (одиничної довжини)

$$\mathbf{x}'\mathbf{w}_j = \sum_{i=1}^n x_i w_{ij} = net_j = z_j \quad (4.4)$$

«виграє» нейрон з максимальним значенням цього скалярного добутку.

На стадії самонавчання SOM здійснюється корекція вагового вектора не тільки нейрона-«переможця», але й вагових векторів інших активних нейронів шару Кохонена, в істотно меншій мірі – залежно від віддалення від нейрона-«переможця». При цьому форма і величина околу навколо нейрона-«переможця», вагові коефіцієнти нейронів якої також коригуються, у процесі навчання змінюються. Спочатку починають з дуже великої області – вона, зокрема, може включати всі нейрони прошарку Кохонена. Зміна вагових векторів здійснюється за правилом:

$$w_j(t+1) = w_j(t) + \eta(t)d_{cj}(t)[x(t) - w_j(t)], j = 1, 2, \dots, m, \quad (4.5)$$

де $w_j(t)$ – значення вагового вектора на t -му кроці самонавчання мережі, $d_{cj}(t)$ – функція близькості між нейронами прошарку Кохонена, $\eta(t)$ – змінюваний у часі коефіцієнт корекції. В якості $\eta(t)$ зазвичай вибирається монотонно зменшувана функція ($0 < \eta(t) < 1$), Алгоритм самонавчання починається порівняно великими кроками адаптації і закінчується відносно невеликими змінами. В ідеальному випадку при використанні процедури (4.5) вагові вектори нейронів шару Кохонена рівномірно розподіляються в просторі вхідних ознак.

Модель даних про парки ЕД (МП) у вигляді карт Кохонена (МКК) також використовується для вирішення завдань аналізу і управління процесами експлуатації парків. Представлення процесів МП у формі топологічних карт демонструють рис. 4.5 – 4.6. При навчанні МКК (5000 епох) використовувалися представники ЕД з наступними контрольованими станами: І (справний); КЗО (коротке замикання обмотки); КЗПК (коротке замикання пластин колектора); ОСЯ (обрив секції якоря); КПК (круговий вогонь по колектору). У моделі експлуатації парку реалізований механізм «розфарбовування» вузлів мережі відповідно до заданих ознак об'єктів, які досліджуються при аналізі сукупності даних. Після «розфарбовування» отримують зони моделі, які відповідають заданим кольоровим «ознакам типа вузлів».

При аналізі нових даних, або нових ЕД, попадання параметрів деякого об'єкту при класифікації на основі МКК в певну зону говорить про його очікувані властивості. За рахунок побудови моделі статистичних даних як карти ознак Кохонена, а також маючи інформацію про частину досліджуваних об'єктів, можна досить достовірно прогнозувати поведінку інших об'єктів [113]. На рис. 4.5 подана карта Кохонена загальної моделі станів ЕД. Малі шестикутники – нейрони карти Кохонена, а колір великих – відображує близькість груп об'єктів. Чим темніше колір шестикутника, тим сильніше відрізняються об'єкти кластерів.

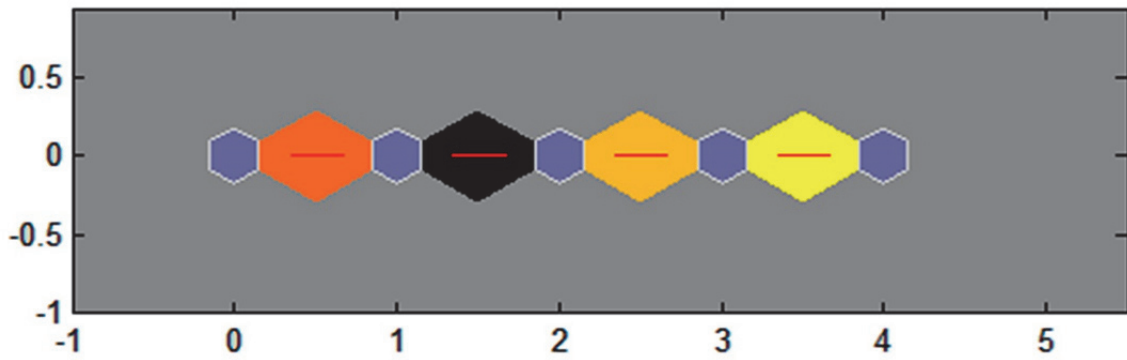


Рисунок 4.5. Схематичне відображення потужностей зв'язків між кластерами індивідуальних інтелектуальних моделей ЕД засобами карт Кохонена

Для наочного відображення динаміки процесів експлуатації парку ЕД «за розфарбуванням» встановлено наступні ознаки зміни станів, які відповідають контрольованим типам відмов: $fail_r^{(s)}$ – відмова типу r для підрозділу (s) ; $h_r^{(s)}(t)$, $h_r^{(s)}(t-1)$ – число ЕД з відповідною відмовою на етапах (t) , $(t-1)$; $cond_r^{(s)}(t)$ – критичне значення пристроїв для відображення зміною кольору $colour_r^{(s)}(t)$; $percent_r^{(s)}(t)$ - процент пристроїв від критичного, для відображення заповнення області вузла типу відмови. Ознаки (рис. 4.6) формуються для окремих виконавців у такому вигляді (s) :

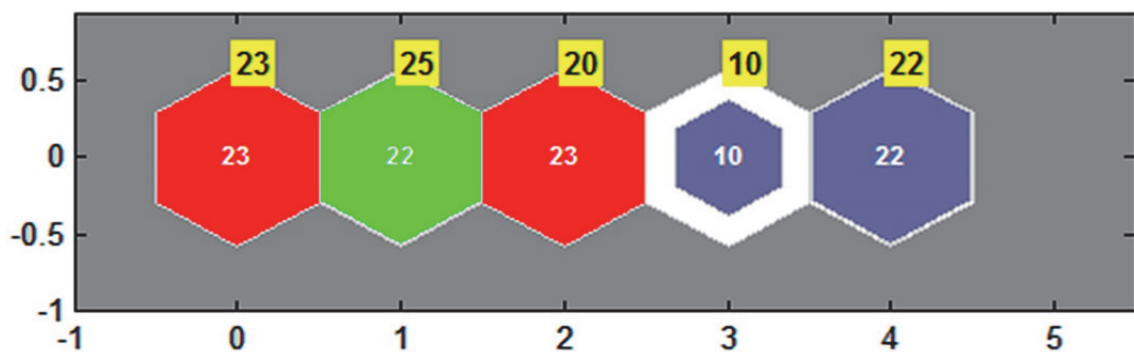


Рисунок 4.6. Відображення зміни станів підсистеми парку ЕД, яка обслуговується спеціалізованим підрозділом, на основі карт Кохонена

$$\{fail_r^{(s)}; h_r^{(s)}(t); h_r^{(s)}(t-1); cond_r^{(s)}(t); colour_r^{(s)}(t); percent_r^{(s)}(t)\}. \quad (4.6)$$

Згідно рис. 4.6 в шестикутниках за ознаками карти Кохонена вказаний розподіл двигунів на даний момент (23, 22, 23, 10, 22), зверху, в жовтих прямокутниках, – попередній розподіл (23, 25, 20, 10, 22). Колір шестикутника визначається таким чином. Якщо сталася зміна кількості елементів в кластері – колір зелений, а якщо число елементів перевищує деяке задане число (тут – 22) – колір червоний, інакше колір є стандартним, синім, яким заповнюється частина шестикутника відповідно параметру $percent_r^{(s)}(t)$.

Такий аналіз (рис. 4.6) дозволить ефективно здійснювати диспетчерський моніторинг за станом парку ЕД при його експлуатації, своєчасно встановлювати потреби в здійсненні ремонтів або оновленні підсистеми парку технічних систем, які виконуються спеціалізованим підрозділом. Для цього на рис. 4.5, 4.6 у дужках зображено множини змінених станів ЕД, які віднесені для кожного спеціалізованого підрозділу.

Моделі МКК застосовуються для кластеризації спектральних характеристик електродвигунів, наочно указуючи приблизні межі кластерів, які характеризують технічний стан ЕД. Знаками «+» позначено положення вхідних зразків на карті, щоб оцінити їх близькість до центрів кластерів МКК і між собою. Позначення кластерів відповідає станам і типам несправностей. А саме: справний – 1, коротке замикання обмотки – 2, коротке замикання пластин колектора – 3, обрив секції якоря – 4, круговий вогонь по колектору – 5. На основі виконання процедур навчання МКК було встановлено, що вхідні зразки, відповідні справному ЕД, добре локалізовані, повністю відповідають одному нейрону топологічної карти. Кластери інших типів несправностей мають невеликі перекриття. Ці властивості вихідних даних про стани ЕД необхідно урахувати при розробці процедур діагностування станів електродвигунів стрілочних переводів.

Використання в АЕПЕД дворівневої нейронно-мережевої моделі дозволяє одночасно виконувати аналіз зміни станів окремих ЕД, доповнюючи їх ІнМ, а

також засобами моделі парку МП-МКК контролювати стани, відповідні виникненню різних типів несправностей ЕД. Приклад графічного представлення процесів експлуатації ЕД за допомогою ІнМ і МП наведено на рис. 4.7. На рис. 4.7 (а) справному стану відповідає кластер 5 ІнМ; в кластері 4 технічний стан погіршується. Кластери 1 і 2 ІнМ відповідають виникненню короткого замикання обмотки.

На ІнМ ЕД рис. 4.7 (б) показаний перехід деякого електродвигуна з справного стану (кластер 2) у стан короткого замикання обмотки (кластер 3).

В цілому автоматизована технологія і система автоматизованої експлуатації ПЕД залізничних стрілочних переводів АЕПЕД дозволяє перейти до обслуговування парку ЕД по їх фактичному технічному стану, з урахуванням умов невизначеності електричних двигунів та інфраструктури.

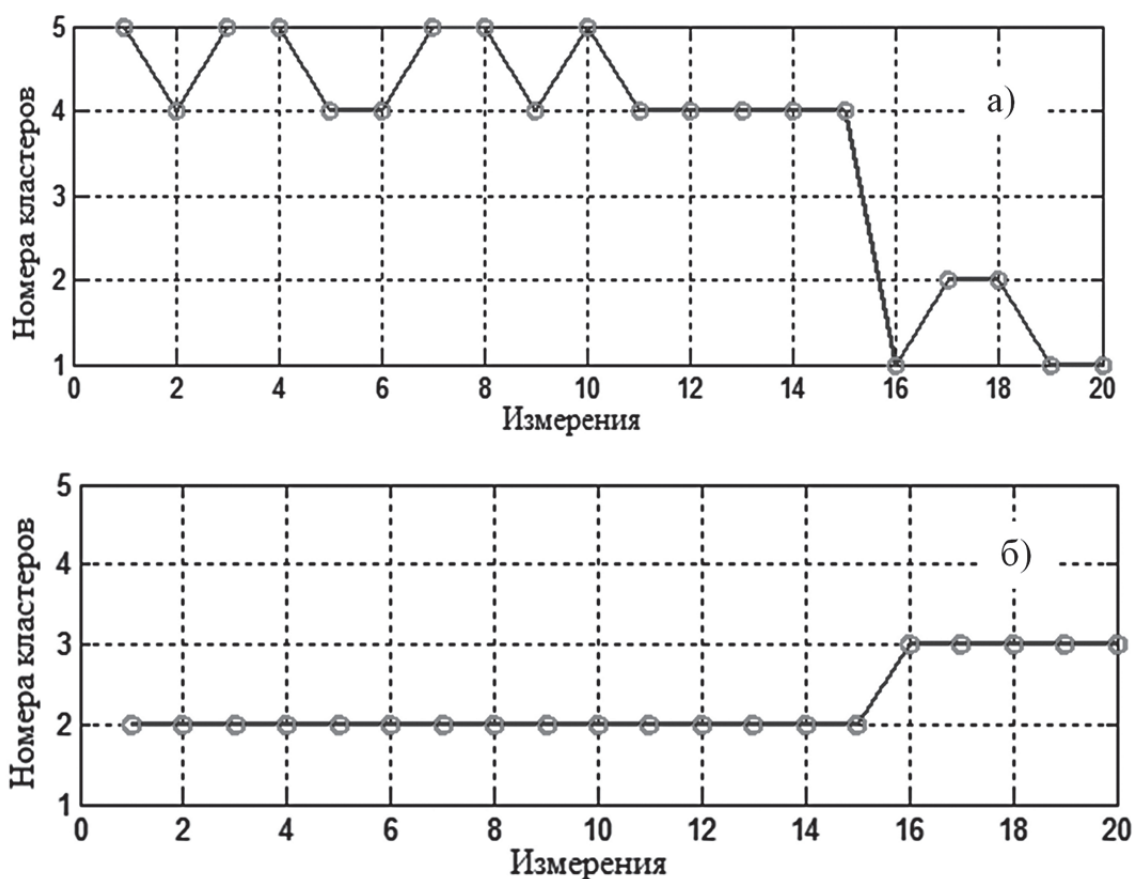


Рисунок 4.7. Графіки процесу експлуатації ЕД у вигляді переміщення характеристик індивідуальних моделей у часі по кластерах станів

4.3.3. Структура моделі автоматизованого управління парком електродвигунів

З урахуванням раніше зазначених завдань і функцій узагальнена структура моделі автоматизованого управління парками ЕД може бути представлена у вигляді, що наведений на рис. 4.8.

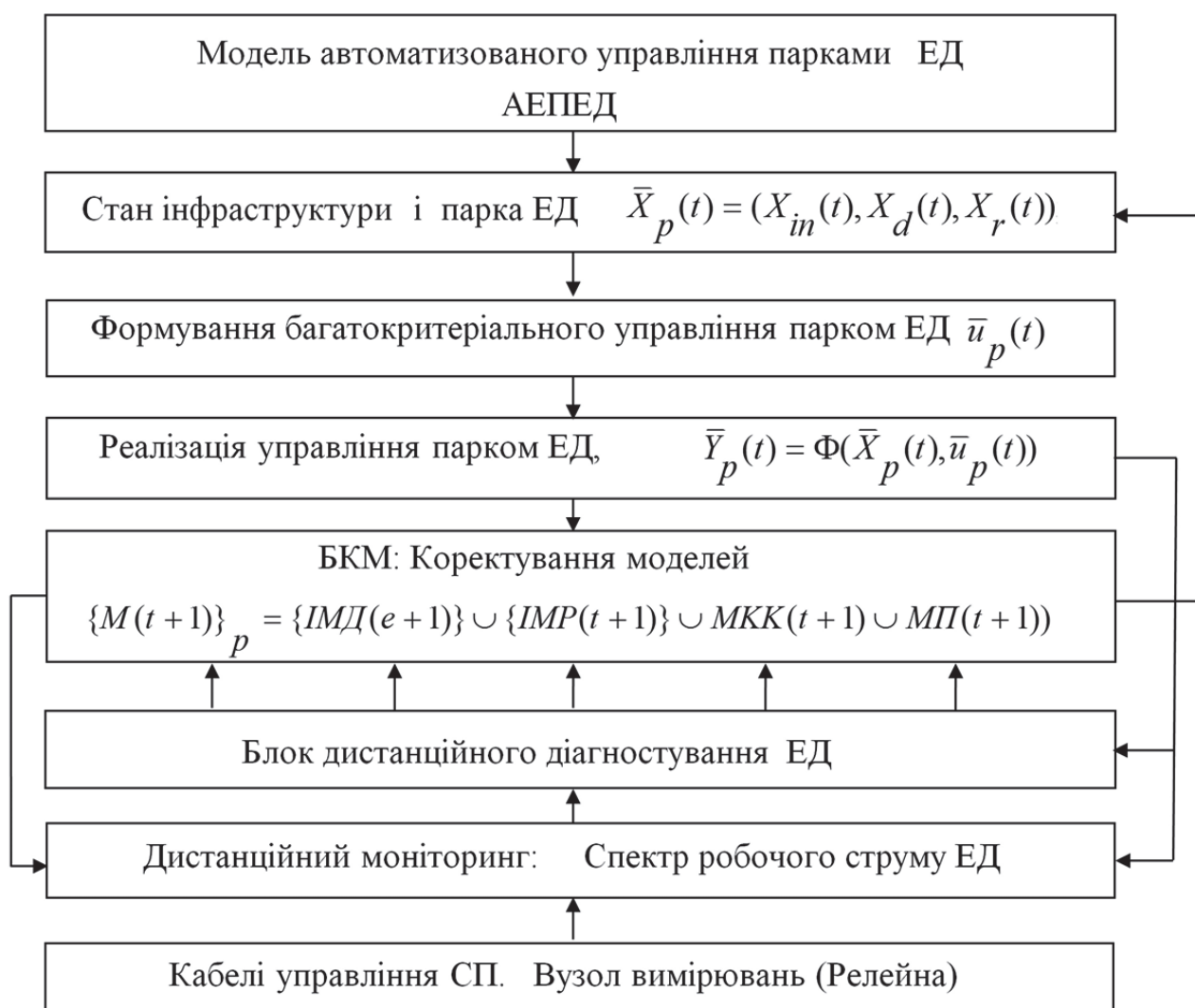


Рисунок 4.8. Структура моделі автоматизованого управління парками ЕД

В основі автоматизованого управління процесами експлуатації ПЕД, рис. 4.8, покладено систему індивідуальних моделей (процесу діагностування – ІнМД, ремонтів – ІнМР ін.). З урахуванням і на основі формування цих моделей контролюються і відображаються зміни станів, ресурсів ЕД у часі (за етапами

обслуговування). Процеси моніторингу, діагностування, ремонтів кожного ЕД впливають на відповідні ІнМ. За даними ІнМ, а також їх різних узагальнень, необхідних для представлення парку ЕД як цілісної сутності, виконуються процедури багатокритеріального аналізу станів і управління парком ЕД.

Розглянемо докладно зміст окремих модулів системи АЕПЕД рис. 4.8. Модуль «Стан інфраструктури і парку ЕД» відповідає за отримання даних про поточний стан системи перевезень та поточний стан кожного ЕД на кроці t процесу управління парком. Поточний стан на етапі (кроці) t представляє композиційний вектор станів парку (4.7):

$$\bar{X}_p(t) = (X_{in}(t), X_d(t), X_r(t)). \quad (4.7)$$

Вектор станів парку $\bar{X}_p(t)$ містить наступні складові: $X_{in}(t)$ – набір поточних значень параметрів інфраструктури, $X_d(t)$ – набір значень параметрів процесів діагностування, $X_r(t)$ – набір значень параметрів процесів ремонту.

На основі даних (4.7) за допомогою процедур прогнозування та багатокритеріального аналізу і вибору, модуль «Формування багатокритеріального управління парком» (рис. 4.8), розраховується вектор $\bar{u}_p(t)$ оптимального управління процесами експлуатації парку ЕД:

$$\bar{u}_p(t) = (u_d(t), u_r(t)). \quad (4.8)$$

Складові (4.8) відповідають (4.7), в яких указані упорядковані послідовності проведення на етапі планування t процедур діагностування, компонента, та ремонтів ЕД парку, компонента $u_r(t)$.

Результати реалізації вектору управління $\bar{Y}_p(t)$ отримують у модулі «Реалізація управління парком ЕД», рис. 4.8.

$$\bar{Y}_p(t) = \Phi(\bar{X}_p(t), \bar{u}_p(t)) \quad (4.9)$$

Відповідно рисунку, вказано стрілками, у ході виконання процедур реалізації управління з узагальненим оператором $\Phi(\bar{X}_p(t), \bar{u}_p(t))$ вибірково і в установленому порядку $u_d(t)$ відбувається діагностування ЕД, результати якого використовуються для формування ИМД наступних етапів управління парками ЕД. Значення параметрів (4.9) представляють фактично відповідні величини (4.7), зокрема $X_d(t)$, для наступного кроку $t+1$ етапу управління, експлуатацією парку ЕД. Така залежність відображає динаміку процесів експлуатації.

Сукупність процедур перетворення індивідуальних моделей ІнМД та ін. у системі АЕПЕД представляє модуль «Корегування індивідуальних моделей та моделей парку ЕД» (БКМ) рис. 4.8. В результаті процедур коригування системи індивідуальних моделей ІнМ електродвигунів і моделей парку ЕД МКК і МП отримують перетворені моделі процесів експлуатації для наступного етапу автоматизованого управління $t+1$:

$$\{M(t+1)\}_p = \{ИМД(e+1)\} \cup \{ИМП(t+1)\} \cup МКК(t+1) \cup МП(t+1). \quad (4.10)$$

Позначення типів моделей (4.10) приведено у розділі вище.

Необхідно зазначити що модуль «Блок дистанційного моніторингу» відповідає рис. 4.8. У ньому виконується дискретизація робочих токів ЕД і отримання їх спектральних характеристик (блок АЦП-ШПФ) [77, 88, 101].

Для отримання спектру робочий струм двигуна був дискретизований частотою $f_d = 11025$ Гц. розрядність вибірки – 16 біт. Послідовність дискретних значень записувалась в wav-файли [101]. Було встановлено, що максимальної частоти спектру $f_{\max} = 0.5f_d = 5512,5$ Гц достатньо для відображення фізичних процесів в двигунах. Розмір блоку для ШПФ Фур'є був обраний розміром $f_s = 512$ Гц. Тобто струм ЕД був представлений $N_h = 0,5F_s = 256$ Гц гармоніка-

ми ШПФ, а припустимий частотний діапазон гармонік спектру при цьому складав

$$\Delta f = f_{\max} / N_h \approx 21,5 \text{ Гц.} \quad (4.11)$$

У множині гармонік $\{f_i\}$ перетворення Фур'є струму двигуна кожна гармоніка представлена парою коефіцієнтів (Re, Im) і має частоту

$$f_i = \Delta f \times i \text{ Гц,} \quad i = \overline{1, N_h} \quad (4.12)$$

Інтенсивність частоти I_i кожної гармоніки перетворення Фур'є обчислюється згідно:

$$I_i = \sqrt{\text{Re}_i^2 + \text{Im}_i^2}, \quad i = \overline{1, N_h} \quad (4.13)$$

Разом з цим треба вказати суттєві функціональні відмінності розроблюваної удосконаленої системи, які стосуються модуля БДМ. Двосторонні зв'язки блоків БДМ і корегування БКМ рис. 4.8 указують на залежність процесів дистанційного діагностування від поточного і деяких попередніх станів індивідуальних моделей ІнМД, а також на систематичне використання отриманих при моніторингу і діагностуванні відповідно $X_d(t)$ нових даних про значення параметрів ЕД для корегування моделей (4.10) у БКМ. Наступна відмінність полягає у визначенні та інтерпретації векторів $\{X_d(t), u_d(t)\}$. У створюваній системі АЕПЕД передбачається, що у разі отримання низьких або суперечливих оцінок достовірності виявлення несправностей засобами дистанційного діагностування, також виконуються стандартні процедури оцінки працездатності ЕД вручну за інструкцією [38]. Результати обох процедур обслуговування ЕД, представлених у різному вигляді, надходять до блоку корегування БКМ.

Таким чином рис. 4.8 являє загальну структуру автоматизованої системи управління процесами експлуатації парків електродвигунів АЕПЕД.

4.4. Формування індивідуальних інтелектуальних моделей процесів експлуатації парків електродвигунів за параметрами поточного стану

4.4.1. Призначення та основні властивості індивідуальних інтелектуальних моделей процесів експлуатації електродвигунів

Автоматизована технологія діагностування та управління парком ЕД заснована на формуванні індивідуальних інтелектуальних моделей, побудованих на основі аналізу частотного спектру робочого струму електродвигунів. Система управління проводить вимірювання характеристик двигуна, що знаходиться під впливом номінальних, робочих значень напруги, струму, магнітних полів і відцентрових сил. Це дозволяє виявляти більше несправностей, ніж при використанні статичних методів діагностики, і робить можливим заміну електродвигуна до його повного виходу з ладу. В ній моделі діагностування можуть автоматично налаштовуватися для виявлення нових видів несправностей на основі аналізу струму двигунів з еталонними несправностями. Застосування системи не вимагає висококваліфікованого інженера електромеханіка, як для настройки, так і для експлуатації. При управлінні парком вирішується одна з основних підзадач експлуатації ЕД залізничних СП – визначення черговості ремонтів тих електродвигунів, при діагностиці яких встановлено різні приховані типи несправностей.

Завдання з автоматизації керування процесом експлуатації парку ЕД з контрольованими поточними станами вирішується на основі побудови дворівневої нейронно-мережевої моделі (карти Кохонена [113]). Модель із керування експлуатацією парку двигунів (МП) об'єднує ІнМ зміни станів ЕД. Для вирішення задачі за експлуатаційними даними (спектри струмів ЕД) була побудована МП можливих станів електродвигунів у формі карти Кохонена. При навчанні мережі (10000 епох) використовувалися окремі відібрані ЕД з наступни-

ми контрольованими станами: І (справний); КЗО (коротке замикання обмотки); КЗПК (коротке замикання пластин колектора); ОСЯ (обрив секції якоря); КВК (круговий вогонь по колектору). У моделі експлуатації парку реалізований механізм «розфарбовування» вузлів мережі відповідно до заданих ознак об'єктів. При аналізі нових даних, або нових ЕД, попадання параметрів деякого об'єкту при класифікації на основі карти Кохонена в певну зону відповідає інформації про його очікувані властивості. За рахунок побудови моделі статистичних даних як карти ознак Кохонена, а також маючи інформацію про частину досліджуваних об'єктів, можна досить достовірно прогнозувати поведінку інших об'єктів [77, 101].

Приклад зображення зміни станів ЕД парку показано на рис. 4.6. У шестикутниках вказаний розподіл двигунів на даний момент (23, 22, 23, 10, 22). Зверху в прямокутниках подано попередній розподіл (23, 25, 20, 10, 22). Колір шестикутника визначає процес. Якщо сталася зміна кількості елементів в кластері – колір зелений, а якщо число елементів перевищує деяке задане число (тут – 22) – колір червоний, інакше колір є стандартним, синім.

На топологічній карті рис. 4.9 наближено показані межі кластерів технічного стану двигунів. Знаками «+» позначено положення вхідних зразків на карті, їх близькість до центрів нейронів і між собою. Кластери позначені таким чином: справний – 1, коротке замикання обмотки – 2, коротке замикання пластин колектора – 3, обрив секції якоря – 4, круговий вогонь по колектору – 5. Вхідні зразки, відповідні справним ЕД, добре локалізовані, а кластери деяких типів несправностей мають невеликі перекриття.

Використання інтелектуальних індивідуальних моделей процесів експлуатації ЕД, а також моделей парку МП, сформованих на основі даних діагностування, з використанням нейронних мереж Кохонена, які передбачають подальше застосування процедур адаптації параметрів, дозволяє підвищити надійність інфраструктури і стійкість залізничних перевезень у цілому.

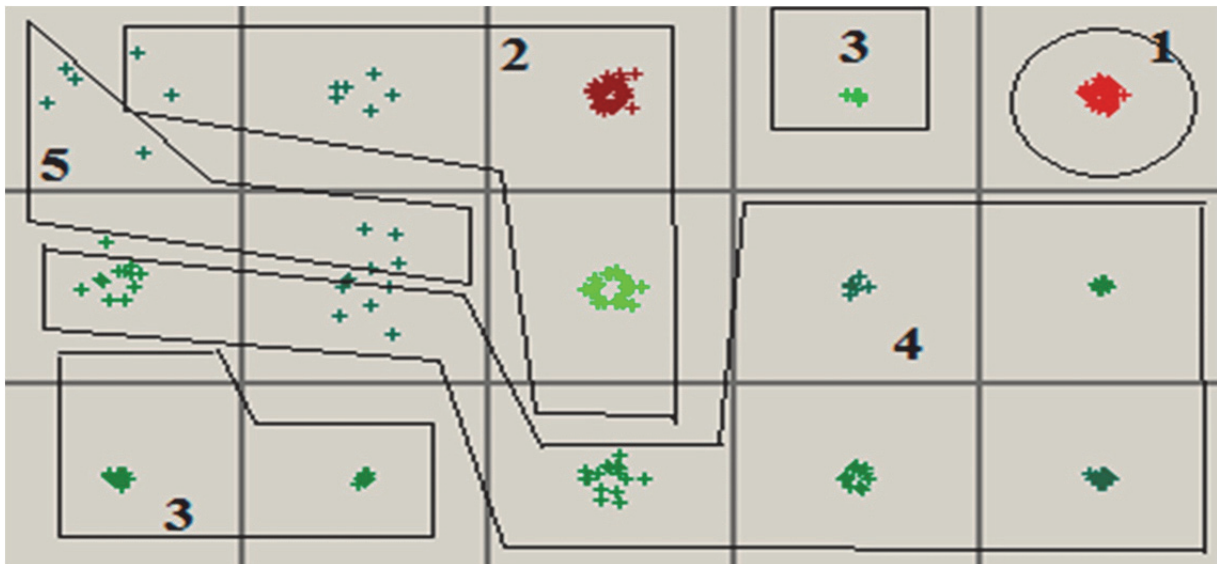


Рисунок 4.9. Приклад формування топологічної карти Кохонена для кластеризації спектральних характеристик струму за типами несправностей електродвигунів

Наведені вище призначення, технологія і процедури формування і використання індивідуальних моделей процесів експлуатації ЕД мають деякі обмеження, що відзначаються на універсальності, функціональності та ефективності АЕПЕД. Головним обмеженням існуючих ІнМ являється їх «загальність», відсутність спеціалізації ІнМ у відповідності до особливостей процесів експлуатації, які моделі забезпечують. Як показано, індивідуальна модель двигуна складається із сукупності спектрів на різних етапах t життєвого циклу ЕД – $Sp_k(t)$, встановлених за спектрами оцінок ступеня достовірності різних можливих видів несправностей, а також початкового спектру справного ЕД – $Sp_k(0)$, як еталона. Разом з тим така інформація являється дуже об'ємною, потенційно дозволяє вирішувати різноманітні завдання автоматизованого дистанційного діагностування ЕД, але недостатньо ефективно виконувати кожного разу окремі розрахунки. При цьому мають місце її наступні обмеження ІнМ:

- в упорядкованих наборах спектрів $Sp_k(t)$ крок окремих етапів t може бути різним, що суттєво ускладнює процедури їх використання для аналізу ста-

нів і прогнозування значень параметрів, очікуваних значень амплітуд різних гармонік струмів на встановленому часовому інтервалі тощо;

- такі індивідуальні моделі не враховують дані про технічні огляди ЕД стрілочних переводів електромеханіком, що мають першочергове значення для практики та достовірності процесів експлуатації парків електродвигунів; разом з тим дані про поточний стан ЕД при таких процедурах обслуговування мають в певній мірі суб'єктивний характер, потребують застосування іншої форми представлення та опрацювання, наприклад, у вигляді нечітких величин [75, 79, 81].

Виходячи з потреб ефективної автоматизації парку АЕПЕД пропонується наступна система побудови удосконалених інтелектуальних індивідуальних моделей експлуатації ЕД на основі функціонального принципу, при збереженні частини спектральних моделей життєвого циклу ЕД $Sp_k(t)$, розпочинаючи із деякого встановленого моменту (t_0^k) , k – обліковий номер двигуна. Також до початкового, базового рівня системи моделей, віднесемо дані, отримані при обслуговуванні СП електромеханіком, які представляють всю відповідним чином організовану сукупність результатів вимірювань параметрів ЕД.

Для організації процесів експлуатації парку на етапі t необхідно мати уяву про тенденції щодо розвитку процесів виникнення несправностей і оцінки періоду L можливого виникнення несправностей різних видів на кроці $t + L$. За отримання такої інформації на основі $Sp_k(t)$, як було показано раніше, відповідає модель кластеризації у формі карт Кохонена [113]. Це двовимірне узагальнення даних про стани парку ЕД являє наступний рівень системи індивідуальних моделей ЕД, які графічно відображають поточні дані етапу t . Верхній рівень ІнМД представляють моделі, які забезпечують прогноз оцінок періодів L до можливого виникнення конкретних типів відмов ЕД через несправності. Таким чином сформована система інтелектуальних індивідуальних моделей забезпечує ефективну експлуатацію парку стрілочних електродвигунів.

4.4.2. Структура індивідуальних моделей для процесів моніторингу, діагностування та ремонтів електродвигунів

Систему індивідуальних моделей процесів експлуатації ЕД парку для наочності представимо у вигляді ієрархії, рис. 4.10. У цілому рівні моделей сформовані на основі функціонального принципу побудови і відповідають зазначеним у 4.4.1 загальним вимогам щодо призначення. На рисунку системи індивідуальних моделей експлуатації ЕД позначені наступним чином.

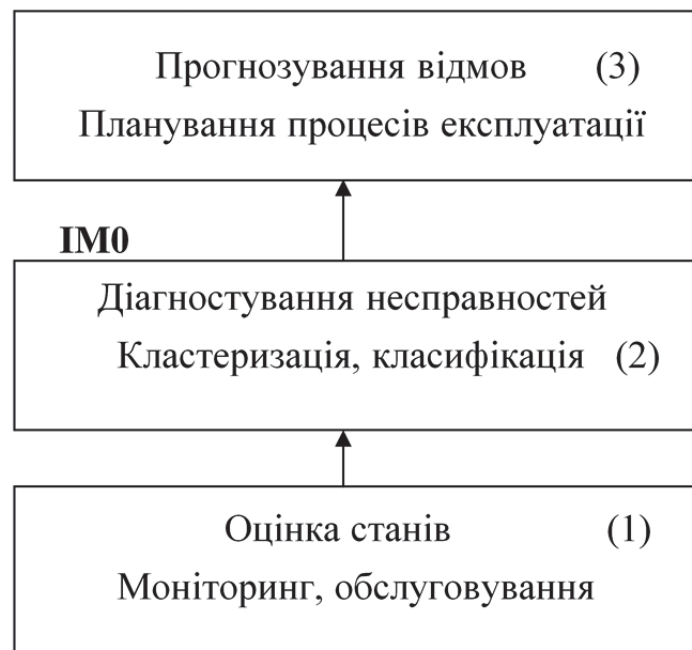


Рисунок 4.10. Система інтелектуальних індивідуальних моделей процесів управління експлуатацією парку електродвигунів

ІМ0 – попередня сукупність моделей системи автоматизації відповідно [88], без функціональної спеціалізації. Перший рівень ІнМ забезпечує даними процедури визначення поточного стану парку ЕД на основі вимірювань та спектрального аналізу робочого струму, а також за даними технічного обслуговування відповідно діючої методики УЗ [38. 77].

Потреба у наборі складових в ІнМ електродвигунів рис. 4.10 викликана також Інструкцією ЦШ-0060 [38] щодо порядку обслуговування електродвигу-

нів. В ній указані нормативи щодо проведення різних видів виконання перевірок ЕД та термінів їх виконання.

Моделі рівня (1) представляють наступні процедури експлуатації: – перевірка один раз в чотири тижні стрілочних ЕД постійного струму на стрілках у маршрутах приймання та відправлення поїздів; - перевірка один раз в квартал ЕД на інших стрілках; - вимір один раз на два роки напруги на електродвигуні при нормальному переводі стрілки і при роботі на фрикцію; – перевірка один раз на рік стану електродвигуна з вимірюванням опору ізоляції обмоток від корпусу.

Моделі другого рівня на основі процедур кластеризації і подальшої класифікації даних про спектри ЕД $Sp_k(t)$ дають можливість визначити несправності, що вже виникли в пристроях або поки що приховані, але мають тенденцію до розвитку на наступних етапах роботи парку ЕД. Виявлені на основі цих моделей безпосередні чи потенційні несправності аналізують моделями прогнозування і планування процесів експлуатації, рівень (3). Оцінки параметрів моделей парку ЕД рівня (3) на основі процедур прогнозування використовуються в подальшому для вирішення багатокритеріальних завдань щодо визначення черговості діагностування та ремонтів ЕД ін.

Укажемо особливість деяких процедур прогнозування (Рівень 3), які зв'язані з моделями накопичення даних про процеси експлуатації ЕД виду

$$((\{Sp_k(t)\}, Sp_k(t_0), (t_0^k), (t \geq t_0^k))), \quad k = \overline{1, N_e}, \quad (4.14)$$

де $Sp_k(t_0)$ спектр ЕД номер k на етапі t_0 , який прийнято за еталон для подальших етапів процесів експлуатації, N_e – кількість ЕД в парку. Через складність і можливу нерегулярність послідовностей $Sp_k(t)$ для прогнозування наступних параметрів пропонується застосовувати інтелектуальні процедури пошуку подібних станів ЕД парку, значення параметрів яких далі використовуються для екстраполяційних процедур прогнозування [91, 94]. Таким чином, в якості ін-

дивідуальної моделі деякого ЕД на кроці (t) виступає набір значень спектрів інших ЕД парку з подібними видами несправностей і характеристиками спектру. Для них вже відомі характеристики спектрів наступних етапів. Саме така інформація використовується для процедури лінійної екстраполяції. Іншим джерелом для прогнозування очікуваних параметрів ЕД на кроці $t+1$ являються карти Кохонена, побудовані для кожної несправності окремо. Формування нечітких процедур прогнозування параметрів процесів експлуатації ЕД розглянуто у наступних розділах.

4.5. Багатокритеріальна ієрархічна модель із визначення пріоритетів обслуговування електричних двигунів з урахуванням неоднорідності об'єктів інфраструктури

Важливою складовою ефективного керування парками технічних систем (ТС) являється урахування неоднорідності окремих об'єктів, як технічно, так і технологічно, через нерівноцінність зв'язків підсистем із рештою елементів інфраструктури – їх призначенням, відповідальністю, наявними ресурсами ін. Зазначена неоднорідність окремих елементів парку впливає на реалізацію завдань із визначення раціональної черговості діагностування, їх ремонтів тощо. Постановка таких завдань планування та управління парками ТС можлива лише в умовах автоматизованого управління, яке реалізується на основі оцінки параметрів поточного стану, а також прогнозування можливих значень на наступних етапах управління. При експлуатації парків ЕД на основі планово-попереджувального методу можливості застосування таких процедур досить обмежені.

Стосовно експлуатації парків ЕД необхідно ураховувати відмінність процедур контролю параметрів та ремонту двигунів різних типів, часові та вартісні показники, технічну базу ін. В умовах обмеженого ресурсу урахування названих чинників, безумовно, впливає на загальну ефективність планування і виконання робіт. Неоднорідність ТС передбачає формування математичних моделей

планування процесів діагностування і ремонтів ЕД парку з урахуванням впливу на безпеку і стійкість процесів перевезень, а також супроводу окремих видів ІнМ процесів експлуатації ЕД.

В АЕПЕД неоднорідність керованих ТС ураховується шляхом формування і застосування моделей методу аналітичних ієрархій (МАІ) [82], а також кластеризації [75, 79, 113]. В першу чергу модель МАІ призначена для оцінки важливості технологічних поїздоділянок, де використовуються окремі стрілочні переводи і ЕД, яким призначається показник відносної важливості ділянок. При визначенні важливості окремої ділянки (відповідного ЕД) ураховується її вплив на пропускну спроможність мережі, види перевезень (вантажні, пасажирські, місцеві ін.), напруженість та відповідальність (число поїздів, напрямок слідування), період року, місце знаходження (можливість заміни маршруту при відмові), період відновлення тощо. Багатопараметричні оцінки важливості окремих технологічних поїздоділянок (і відповідних ЕД) розраховуються на основі процедури МАІ [82]

$$L_i = \{h_i^1, h_i^2, \dots, h_i^k, h_i^{k+1}, \dots, h_i^K\}, \quad i = \overline{1, L}, \quad (4.15)$$

де h_i^k – відносна значимість k -го параметру i -ї технологічної ділянки.

Загальна аналітична структура моделі МАІ для розрахунку показників важливості виду (4.15), може бути представлена за рахунок вкладення вузлів. Така модель ієрархії має наступний вигляд:

$$M1 = (P(S1, S2, S3, S4, S5), G(S1, S2, S3, S4, S5), PM(S1, S2, S3, S4, S5)), \quad (4.16)$$

де вузол нульового рівня М1 – корінь ієрархічної моделі. Графічна структура моделі (4.16) надана на рис. 4.11.

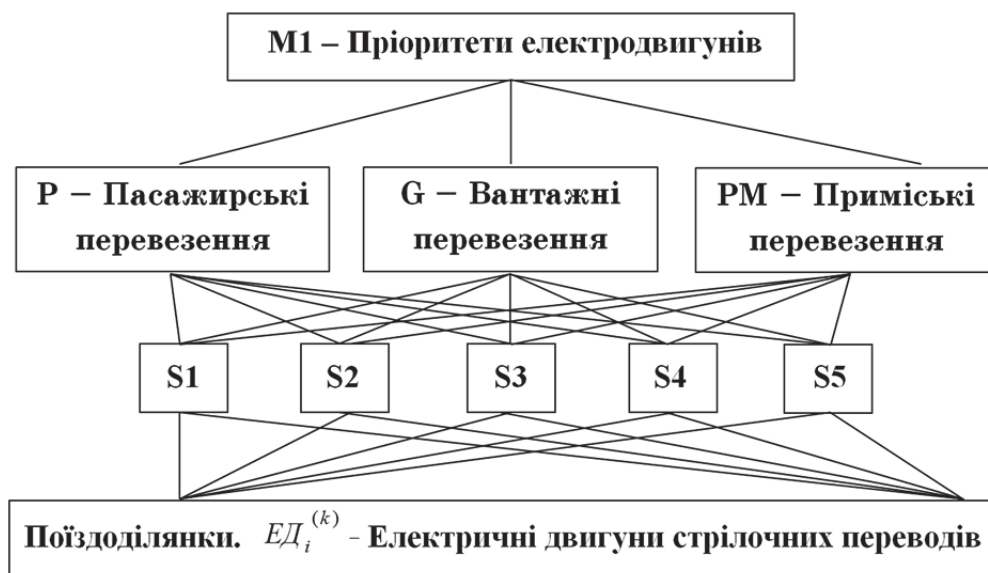


Рисунок 4.11. Модель аналітичної ієрархії для розрахунків пріоритетів електродвигунів стрілочних переводів

Зміст елементів моделі ієрархії (4.16) та рис. 4.11 наступний. Вузол M1 представляє всю ієрархічну модель MAI. Вузли першого рівня P, G, PM визначають пасажирські, вантажні та приміські перевезення, відповідно; їх підвузли другого рівня ієрархії S1, S2, S3, S4, S5 значать наступне: категорія поїзда, період, місце знаходження (місця простою: перегін, станція), напруженість ділянки, період необхідний для відновлення транспортної мережі. За допомогою моделі (4.16) оцінюється важливість окремих категорій ділянок h_i на мережі із стрілочними переводами. Модель цілі (рис. 4.11) у завданнях порівняльного аналізу ділянок інфраструктури, зрозуміло, враховує не всі чинники, що визначають умови на конкретних полігонах залізниць. Наприклад, до показників другого рівня можна додати «рід тяги» (електротяга або автономна) – S6.

Отримані оцінки важливості ділянок (і відповідних ЕД) використовуються у моделях планування для упорядкування електричних двигунів та визначення черговості діагностування і ремонту ЕД.

4.6. Формування баз знань нечітких експертних систем для прогнозування параметрів електричних двигунів у процесах експлуатації

Вирішення завдань автоматизації процесів експлуатації парків технічних систем виконаємо на основі методів експертних систем (ЕС). В роботах [77, 88] представлена експертна система класифікації об'єктів за даними їх частотного спектру. Основою ЕС є база нечітко-статистичних правил (БНСП) [88, 101] та метод нечіткого управління [79]. Нечітка компонента БНСП відображає суб'єктивні знання експерта про частотні діапазони об'єктів. Статистична складова БНСП відображає фактичний частотний спектр еталонних об'єктів класифікації і формується автоматично в процесі адаптації ЕС. На рис. 4.12 представлена структура експертної системи нечітко-статистичної класифікації об'єктів по частотному спектру.

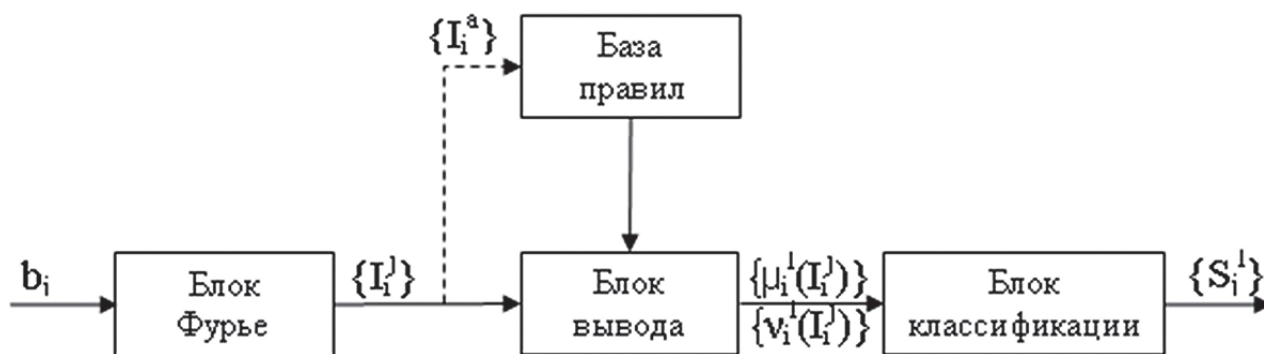


Рисунок 4.12. Структура експертної системи класифікації об'єктів управління

Експертна система рис. 4.12 виконує класифікацію об'єктів управління по частотному спектру на основі адаптивної бази нечітко-статистичних правил та узагальнення методу нечіткого управління [79]. В ЕС рис. 4.12 блок Фур'є реалізує швидке перетворення Фур'є (ШПФ), а також процедури фазифікації [75, 79, 81] характеристик вхідних сигналів.

Знятий з об'єкта сигнал подається на аналого-цифровий перетворювач (АЦП) для дискретизації. Частотний спектр сигналу об'єкта отримують за до-

помогою ШПФ, результатом якого є представлення об'єкта множиною гармонік $H = \{h_i\}$, $i = 1, \dots, N_H$ перетворення Фур'є.

Для побудови бази правил ЕС були застосовані метод Мамдані, метод нечітко-статистичного управління (НСУ) і метод нечіткого управління Такагі-Сугено [79]. В рамках методу НСУ для обчислення приналежності вхідної величини до нечітких множин використовується функція щільності ν , яка побудована на основі обробки статистичних даних вхідної величини, використовуючи методику [79].

Для кожного класу станів об'єктів c_l існує своє правило, що визначає ступінь належності об'єкта b_j до класу c_l . Правила представлені в наступному вигляді:

$$\begin{aligned} R^{(l)} : & \text{IF } ((I_1^j \text{ is } I_1^l) \text{ AND } (I_2^j \text{ is } I_2^l) \dots \text{ AND } (I_N^j \text{ is } I_{N_H}^l)) \\ & \text{THEN } S_j^l = f^{(l)}(\{\mu_i^l(I_i^j)\}, \{\nu_i^l(I_i^j)\}), \quad i = \overline{1, N_H} \end{aligned} \quad (4.17)$$

де I_1^l – нечіткі множини інтенсивності i -ї гармоніки j -го класу об'єктів, представлені функціями належності μ_i^l та функціями щільності ν_i^l ; $f^{(l)}$ – функція розрахунку значень ступені належності S_j^l об'єкта b_j до класу c_l .

Для формування БНСП необхідно встановити функції μ_i^l та ν_i^l .. Функції μ_i^l визначаються експертом суб'єктивно на основі його знань щодо частотного спектру досліджуваних об'єктів. Для отримання функцій ν_i^l ЕС повинна бути «навчена» на множині навчальних даних про об'єкти P . Частотний спектр кожного такого об'єкту множини навчання p_a представляється множинами інтенсивності гармонік $\{I_i^a\}$, $i = \overline{1, N_H}$. Діапазон фактичних значень I_i^a розбивається на N_T^l рівних інтервалів. Кожний об'єкт навчальної множини p_a належить певному класу об'єктів c_l . В свою чергу, кожному c_l відповідає своє значення числа інтервалів N_T^l , $l = \overline{1, N_C}$.

ЕС класифікації об'єктів по частотному спектру на основі адаптивної БНСП була використана для розробки програмно-апаратного комплексу діагностики електродвигунів [77]. За допомогою БНСП проводилась діагностика ЕД постійного струму залізничних стрілочних переводів моделей ДП 0.18, ДП 0.25, МСП 0.15 і МСП.

Розглянемо питання формування бази правил експертної системи діагностування ЕД. Далі як приклад представлено формування конкретної бази правил (БП) експертної системи (ЕС) для діагностики електродвигунів постійного струму залізничних стрілочних переводів МСП 0.24. При формуванні бази правил були досліджені зразки двигунів, що мали різний технічний стан: справний, коротке замикання обмотки, коротке замикання пластин колектора, обрив секції якоря, круговий вогонь по колектору. Був отриманий частотний спектр струмів цих зразків. Як вище зазначено, частотний спектр двигуна був представлений 256 інтенсивностями гармонік швидкого перетворення Фур'є.

Для формування БП були досліджені середні арифметичні значення інтенсивності гармонік різних зразків електродвигунів. Далі через $M(i; k)$ буде позначатися середнє арифметичне інтенсивності гармонік з індексами від i до k ($i < k$). На рис. 4.13 представлений один з характерних графіків значень $M(1; 64)$, отриманих для різних зразків двигунів. Діапазони номерів зразків відповідали наступним класам технічного стану електродвигунів: $[1; 56]$ – справний, $[57; 160]$ – коротке замикання обмотки, $[161; 211]$ – коротке замикання пластин колектора, $[212; 283]$ – обрив секції якоря, $[284; 293]$ – круговий вогонь по колектору.

Аналіз значень величини $M(1; 64)$, в кінцевому рахунку, дозволив виділяти серед множини зразків ЕД два класи електродвигунів: «справний», «несправний», серед яких і «круговий вогонь по колектору» (див. рис. 4.13). На рис. 4.13 по осі абсцис відкладені номери зразків електродвигунів із різними типами несправностей.

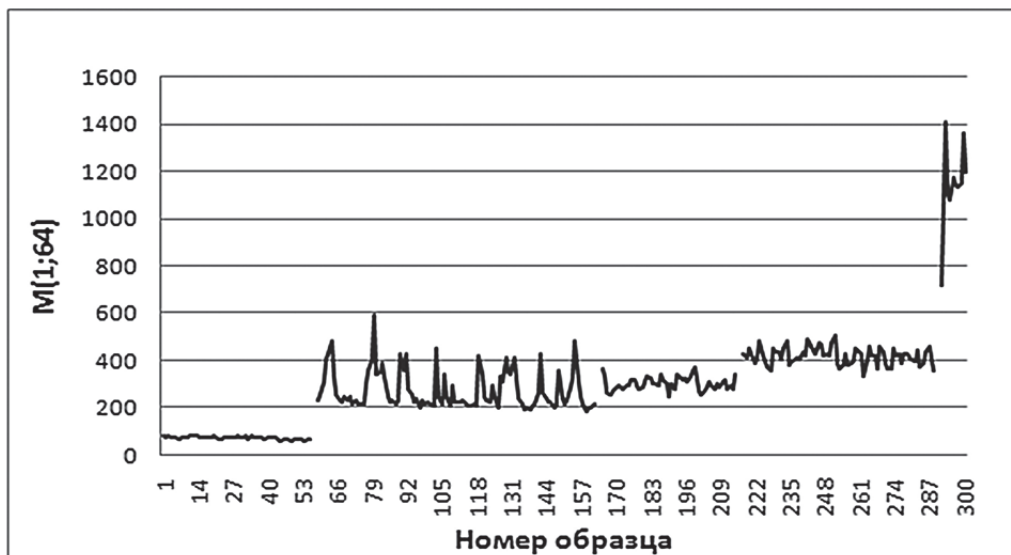


Рисунок 4.13. Значення інтенсивності гармонік $M(1; 64)$ для різних типів зразків електродвигунів

Узагальнені, нечіткі правила для діагностування зразків ЕД різних категорій мають такий вигляд:

$$\begin{aligned} \text{IF } (M(1; 64) \text{ is Less90}) \quad \text{THEN} \quad \text{IsOK} \\ \text{IF } (M(1; 64) \text{ is More700}) \quad \text{THEN} \quad \text{Is-Round-Light.} \end{aligned} \quad (4.18)$$

Вони являються правилами бази нечітких знань у вигляді (4.18), або у формі моделі Такагі-Сугено [79], поданими у спрощеній формі, яка відповідає досліджуваному процесу. В правилах (4.18) указані нечіткі величини Less90, More700, IsOK, Is-Round-Light. Змістовно вони відповідають детермінованим величинам, приведеним нижче у (4.19). Загальна форма баз знань і процедура цього методу для завдань управління експлуатацією парку ЕД подана нижче.

Для порівняння наведемо детерміновану форму правил моделі бази знань експертної системи діагностування ЕД [77]. А саме:

$$\begin{aligned} & \text{IF } (M(1; 64) < 90) \text{ THEN «Справний»} \\ & \text{IF } (M(1; 64) > 700) \text{ THEN «Круговий вогонь по колектору».} \end{aligned} \quad (4.19)$$

Наведені правила містять чіткі множини інтенсивності гармонік, які представляють відповідні типи несправностей (при $(M(1; 64) > 700)$ круговий вогонь). Але, наприклад, в умовах розвитку при експлуатації ЕД кількох типів несправностей, детерміновані вимоги, нерівності можуть порушуватися. Праві частини, висновки правил (4.18) являються табличними функціями, указують виявлені при діагностуванні класи несправності ЕД.

Подібним чином модифіковані також інші правила діагностування ЕД. Виконані дослідження чітких і нечітких значень величини $M(26; 30)$ дали можливість діагностувати електродвигуни з наступними видами несправностей: «коротке замикання обмотки», «коротке замикання пластин колектора» і «обрив секції якоря». Представлені в зручній для викладу формі правила експертної системи для виявлення цих видів несправностей мають, наприклад, вигляд:

$$\begin{aligned} & \text{IF } \{ [M(26; 30) \text{ is More } 600] \text{ AND } [M(26; 30) \text{ is Less } 600] \} \\ & \text{THEN } \text{Is-K3O} \text{ «Коротке замикання обмотки»} \\ & \text{IF } \{ [M(26; 30) \text{ is More } 30] \text{ AND } [M(26; 30) \text{ is Less } 200] \} \\ & \text{THEN } \text{Is-K3PK} \text{ «Коротке замикання пластин колектора»} \\ & \text{IF } \{ [M(26; 30) \text{ is More } 200] \text{ AND } [M(26; 30) \text{ is Less } 430] \} \\ & \text{THEN } \text{Is-OCЯкоря} \text{ «Обрив секції якоря».} \end{aligned} \quad (4.20)$$

На рис. 4.14 графічно показано відмінності детермінованих (фрагмент (а)) і нечітких (фрагмент (б) [94]) елементів правил діагностування станів ЕД на основі спектральних характеристик струмів, визначених виразами (4.20).

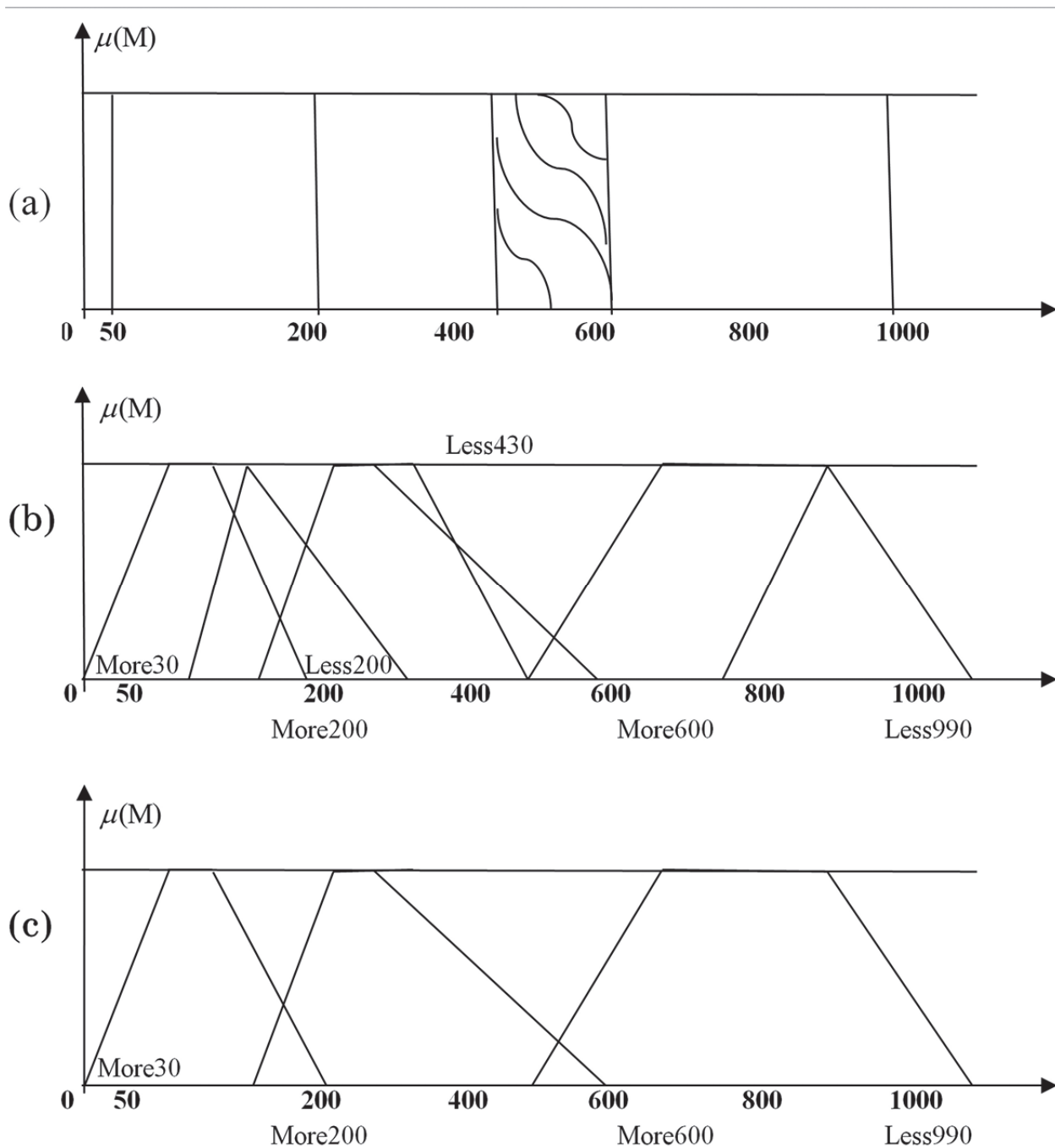


Рисунок 4.14. Представлення детермінованих (а) і нечітких (b)-(c) правил бази знань експертної системи діагностування несправностей ЕД для $M(26; 30)$

У детермінованому варіанті правил рис. 4.14 (а) визначено границі діапазонів величин інтенсивності гармонік $M(26; 30)$. При цьому навіть незначна зміна рівня інтенсивності може приводити до діагностування різних можливих типів несправностей ЕД, що не повністю відповідає практичним спостережен-

ням. По суті, не можливо також відстежувати «розвиток несправності». Нечітка форма правил діагностування (4.20), що показана на рис. 4.14 (b), (c), використовує «розмиті» області діагностування несправностей, які подані трапецієвидними і трикутними функціями належності, що визначають відповідні області More30, Less200, Less990 та ін. Рис. 4.14 (c) містить частину термів із (b). Із змінами інтенсивності гармонік $M(26; 30)$ буде змінюватися показник ступеня належності поточного стану ЕД до області із відповідним типом несправності.

Зазначена методика автоматизованої діагностики станів ЕД моделі МСП 0.25 засобами експертної системи виявилася досить ефективною. З урахуванням деяких опущених тут несуттєвих деталей формування БП, представлена методика автоматизованої діагностики несправностей ЕД дозволила вірно визначати всі типи несправностей для кожного з наявних варіантів даних.

Підвищення достовірності нечітких правил виду (4.20) у порівнянні із детермінованими, приклад представлений у (4.19), пояснюється також наступним. При детермінованих моделях діагностування властивостей (4.20) область (430; 600) інтенсивностей гармонік $M(26; 30)$ не відповідає жодному типу несправності (тобто, в ній стан ЕД «справний», рис. 4.14 – (a)). При нечітких моделях (4.20), рис. 4.14 (b), в цій області «розвиваються» процеси пошкодження («Коротке замикання обмотки» або «Обрив секції якоря»), що визначається показником належності $\mu(M)$.

4.7. Дослідження параметрів стохастичних часових рядів технологічних та експлуатаційних процесів залізничного транспорту

Розглянемо питання прогнозування та планування процесів експлуатації парків ЕД, представлених в ІнМ ЕД недетермінованими послідовностями. Дані про процеси експлуатації залізничного транспорту, що накопичуються в АСУ, можна розглядати як часові ряди (ЧР): впорядковані по етапах контролю значення заданих показників. Оцінки показників мають складну динамічну структуру і відображають властивості технологічних, експлуатаційних, фінансових

та інших процесів залізничного транспорту. У роботах [91, 94, 95] досліджені можливості застосування нових методів аналізу ЧР, що представляють властивості вагонопотоків, на основі показника Херста (HV) [91]. HV оцінює стохастичність ряду, наявність в ньому довготривалої «пам'яті», використовуючи процедуру R / S-аналізу. Значення HV дозволяє класифікувати процеси на персистентні (трендостійки $H > 0.5$), антиперсистентні (злам тенденції, $H < 0.5$), випадкові (H близько 0), використовуючи величини виду

$$H = \frac{\log(R / S)}{\log(a \times N)}, \quad (4.21)$$

де H – показник Херста; S – середнє квадратичне відхилення ЧР; R – розмах накопичуваних відхилень; N – число періодів спостережень; a – константа. ($a=\pi/2$ для «коротких» ЧР, що відповідають реальним процесам залізничного транспорту).

У роботах [91, 95] були досліджені властивості ЧР, що характеризують кількість вагонів, відправлених по станціях за добу. Було з'ясовано, що показник Херста цих ЧР часто знаходиться в інтервалі $[0,3; 0,5]$, тобто відомості про попередні властивості і поведінку процесу у ЧР не зберігаються. Це свідчить про проблеми прогнозування і планування процесів експлуатації парків ТС.

Для подальшого дослідження процесів, що описуються ЧР в області «білого шуму» ($H = [0,4, 0,5]$), була розроблена процедура усереднення рівнів ЧР, а також запропонована процедура класифікації ЧР – ПКР. Згідно ПКР на основі вихідного ЧР формується серія нових ЧР: $ЧР_i(k)$, $k = 2, 3, \dots$. Тут параметр k вказує кількість послідовно розташованих рівнів ряду, які використовуються для побудови чергового рівня перетвореного ряду (як середнього значення рівнів k) на i -му етапі процедури ПКР. Потім новоутворені $ЧР_i(k)$ досліджуються на основі моделі (4.21). Побудова $ЧР_i(k)$ закінчується, якщо для деякого k відповідний $ЧР_i(k)$ стане персистентним за (1), або ж на i -му етапі ПКР виконуватися вимоги: $H(ЧР_i(k)) > H^*$, H^* – задане. До отриманих на k -му етапі модифі-

кованим рядом $\text{ЧРi}(k)$ далі застосовуються стандартні статистичні методи моделювання і прогнозування.

Застосування процедури агрегування ЧР і розрахунку для них властивості персистентності (антиперсистентності) показало, що якісні властивості ЧР проявляються на різних етапах. На рис. 4.15, 4.16 представлено агреговані ряди, побудовані для двох і трьох рівнів параметрів відправлення вагонів. При цьому показники Херста відповідно дорівнюють (0.18 та 0.71).

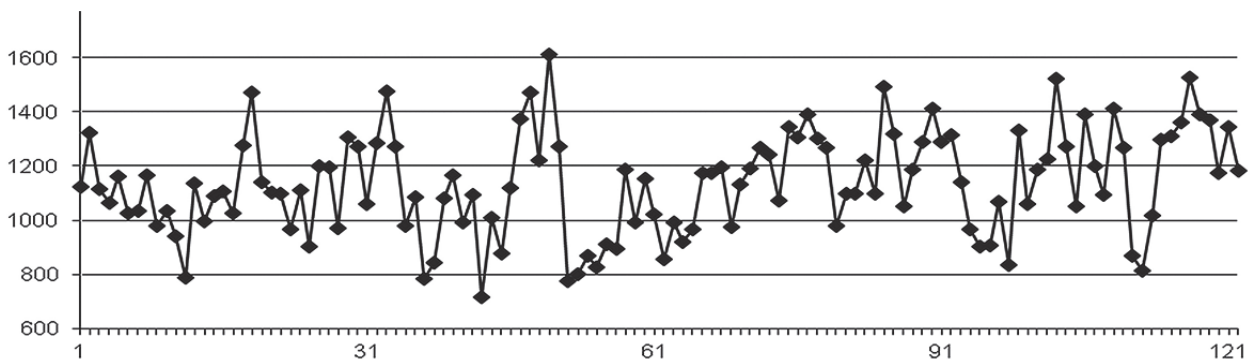


Рисунок 4.15. Параметри вагонопотоку з агрегуванням за 2 доби, $H=0.18$

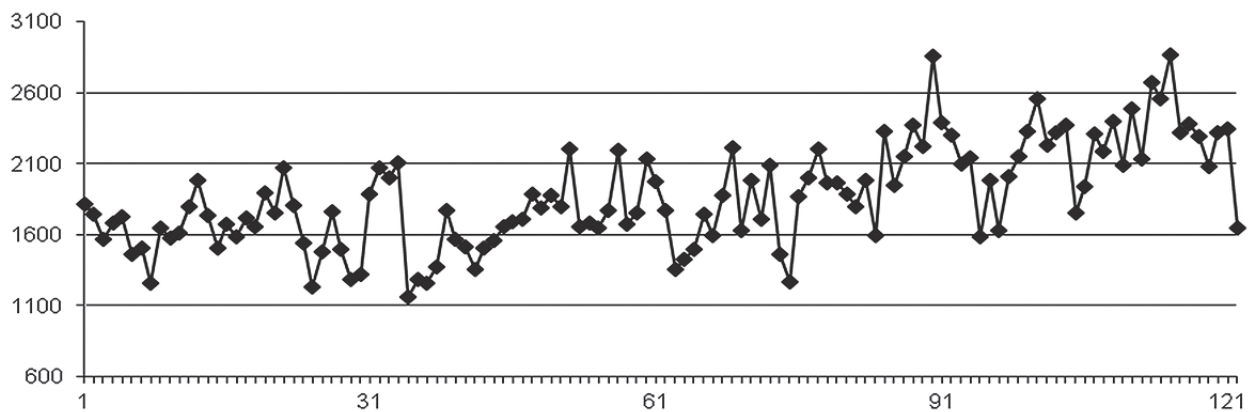


Рисунок 4.16. Параметри вагонопотоку з агрегуванням за 3 доби, $H=0.71$

Приклади виявлених класів ЧР технолого-економічних процесів показані на рис. 4.17. Зліва показані вихідні, справа – перетворені (агреговані) ЧР, а також наведено значення їх показників Херста (4.21) та коефіцієнтів детермінації моделей [91, 95].

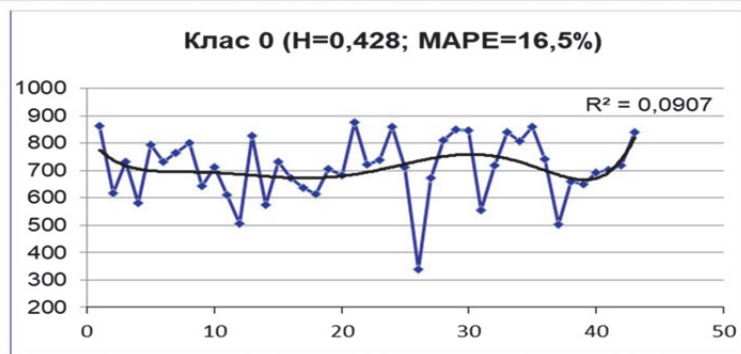
Розроблена процедура аналізу агрегованих рядів спостережень надає можливості обґрунтованої інтерпретації їх властивостей та отримання достовірних оцінок прогнозування і планування досліджуваних процесів. Вона забезпечує можливість автоматизації та підвищення ефективності процесів економіко-технологічного прогнозування та планування за умов недетермінованості залізничних процесів і систем.

4.8. Планування процесів експлуатації парку електродвигунів на основі процедур класифікації даних індивідуальних і групових моделей

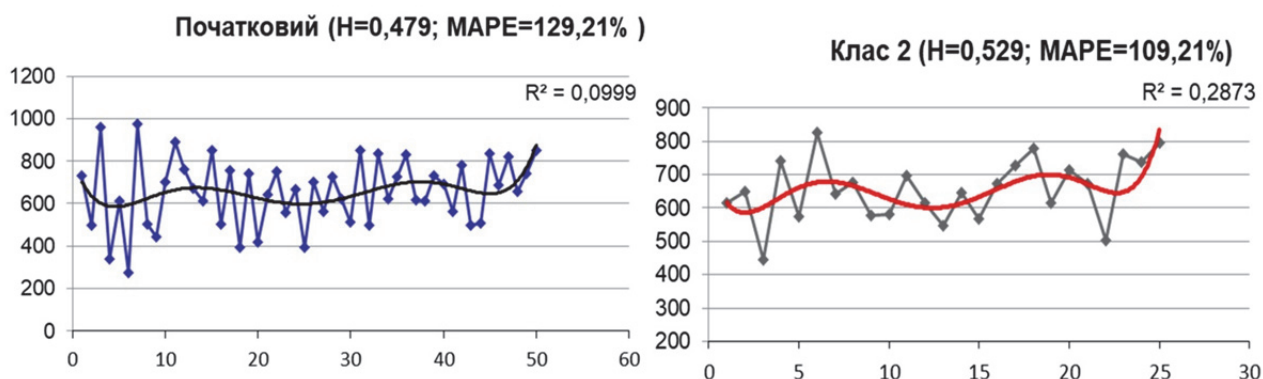
Як було зазначено раніше, модуль моніторингу (рис. 4.8) порівнює отриманий спектр струму контрольованого ЕД зі спектром його справного стану, що зберігається у відповідній ІнМ ЕД. При виявленні «істотних» відмінностей цих спектрів параметри цього ЕД передаються в модуль діагностування, на виході якого отримують як види, так і оцінки достовірності виявлених несправностей. Ці оцінки зберігаються в ІнМ ЕД, формуючи часовий ряд (ЧР), який далі використовується для прогнозування технічного стану електродвигуна.

Структура системи ІнМ процесів експлуатації ПЕД (моніторинг, діагностування, прогнозування, планування, ремонт) являє ієрархію моделей. Рівні сформовані за функціональним призначенням. На рисунку 4.8 позначено: ИМ0 – загальна модель АСЕД, відповідно [94].

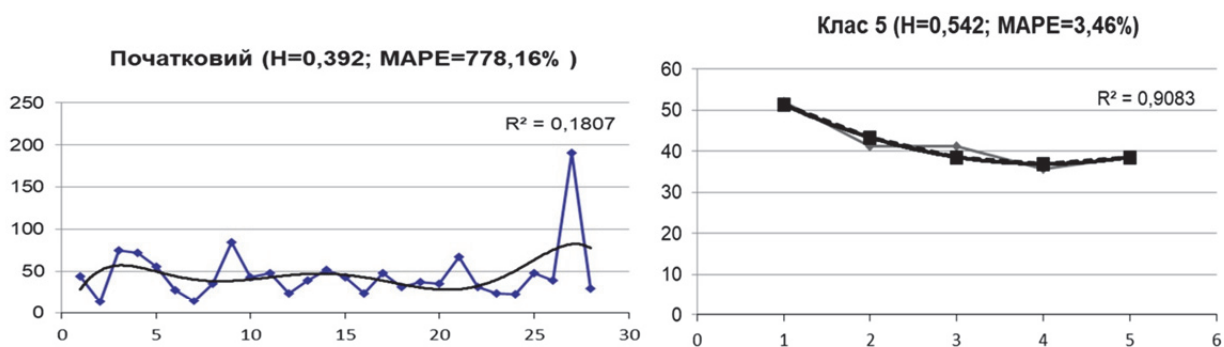
Рівень ІнМ 1 забезпечує даними процедури оцінки поточного стану ПЕД. Моделі рівня ІнМ 2 використовують для кластеризації даних спектрів, а також класифікації ЧР, отриманих при моніторингу.



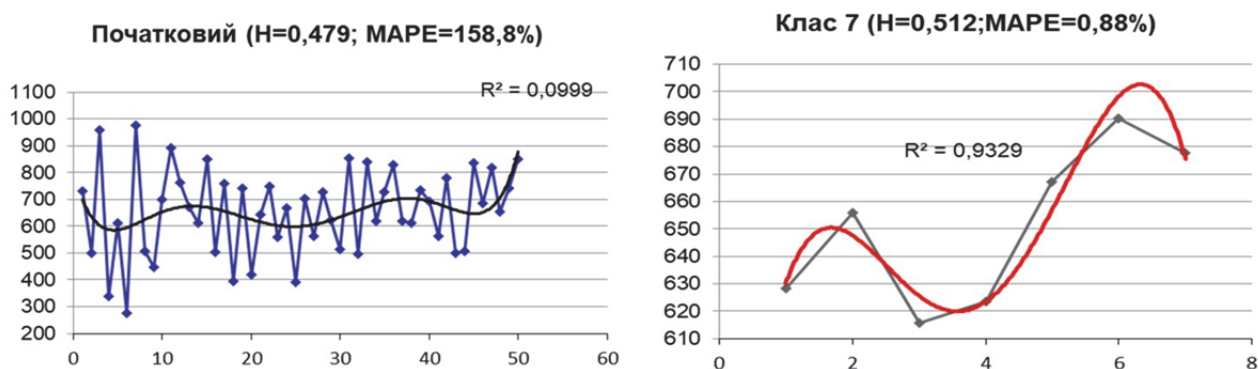
(а) клас 0 – не виявлено класу агрегування у встановленому періоді



(б) – приклад процесів класу 2



(в) – приклад процесів класу 5



(г) – приклад процесів класу 7

Рисунок 4.17. Класифікація залізничних технологіко-економічних процесів

Для визначення класу ЧР застосовується процедура ПКР. Дані про спектри струмів ЕД дають можливість мають проявитися на наступних етапах експлуатації ЕД, а також оцінити очікувані терміни до їх виникнення. Визначені на основі імітаційної моделі існуючі чи потенційні несправності ЕД далі аналізують моделями прогнозування та планування процесів експлуатації (ІнМ 3). Оцінки параметрів за ІнМ 3 використовують для формування параметрів моделей оптимізації черговостей обслуговування ГЕД або ЕД.

З урахуванням процедур ПКР набір даних ІнМ електродвигунів містить наступні характеристики: часові послідовності (ЧР) спектрів струму ЕД; інформацію про властивості ЧР – константу Херста (4.21) вихідного ЧР, клас ЧР, а також значення показника Херста XV перетвореного ЧР, побудованого за процедурою ПКР; класифікація можливих відмов ЕД за спектрами струму – (вид несправності, а також достовірність цього стану), прогнозний період до події, отриманий методом лінійної екстраполяції; оцінки числа перемикачів стрілки за встановлений період і ін.

На основі ІнМ електродвигунів формуються $ИДГ_k$ (моделі обслуговування груп ЕД при експлуатації). Загальна оцінка властивостей $ИДГ_k$ виходить на основі функцій $\max/\min$, які застосовують до показників кожного ЕД групи. У набір властивостей $ИДГ_k$ входять: витрати на нормативне обслуговування ($ЗН_k$), додаткові технологічні витрати при виході двигунів з ладу ($ДЗ_k$), нормативне число перемикачів стрілок за встановлений період (NT_k). За NT_k обчислюють аналогі ймовірності, для розрахунку показника можливих загальних витрат. Також для $ИДГ_k$ на основі показника Херста обчислюються властивості групового ЧР, його клас (процедура ПКР). У разі необхідності виконується класифікація перетвореного по ПКР ряду, що дозволяє уточнити моделі прогнозування процесів експлуатації для ГЕД і ЕД.

Модель оптимального планування черговості обслуговування ГЕД реалізується в такий спосіб. Вважаються заданими період планування T і максимальний ресурс на обслуговування (максимально можливе кількість ЕД, яке можна обслужити за період) $T - ЕД(T)$. Для кожної $ИМГЕД_k$ на основі її часового

ряду ЧР_k визначають кількість можливих відмов за період $T - n(T)$, а також їх види. Крім того, встановлюються ГЕД, які підлягають плановому обслуговуванню згідно нормативів (ПНО) [1] – $\text{ГЕД}_H(T)$ і кількість ЕД в них – $n_H(T)$. Таким чином, сумарна кількість ЕД в кожній групі, які підлягають ремонту:

$$n_{\text{ГЕД}_k}(T) = n(T) + n_H(T). \quad (4.22)$$

При цьому якщо $n(T) = 0$, тоді ГЕД підлягає тільки нормативному обслуговуванню. В цьому випадку форматується множина $G(T)$:

$$G(T) = \{\text{ГЕД}_k(T)\}, \quad \forall n_{\text{ГЕД}_k} > 0. \quad (4.23)$$

Якщо кількість ГЕД(Е) в плановому періоді, які необхідно обслуговувати, ($n_{\text{ГЕД}_k}(T) > 0, \quad \forall k = \overline{1, \text{ЕД}(T)}$) не перевищує 12-14, можливо застосовувати перебір усіх можливих варіантів перестановок ГЕД. При більшій кількості ($n_{\text{ГЕД}_k}(T) > 14$) вибір оптимальної перестановки може бути реалізованим на основі методів пошукової оптимізації, наприклад, генетичних алгоритмів [75, 79].

Для формування моделі розрахунку черговості обслуговування ГЕД розроблений спеціалізований показник ефективності планування. Показник відповідає оцінкам очікуваних додаткових витрат (*ОДВ*) за період планування. Черговість обслуговування ГЕД, при якій ці витрати мінімальні, є оптимальною. Величина *ОДВ* розраховується таким чином:

- за моделлю обслуговування груп ЕД – ИДГ_k – обирають $ДВ_k$ і NT_k , на основі яких розраховують оцінки ймовірностей подій відмов у групі – $P(NT_k)$;
- для ЕД із ИДГ_k по моделям ИнМ ЕД визначають загальні додаткові витрати $ДВ_{\text{рем}}$ на ремонт ЕД, що можуть вийти з ладу в період планування (з урахуванням можливого прогнозованого типу відмови);
- визначають $ВН_k$ – нормативні витрати на вид ремонту « k » ЕД:

$$DB_{рем} = \sum_k (N_{kED} \times BH_k). \quad (4.24)$$

У (4.24) N_{kED} - число ЕД у групі що потребують ремонту виду « k ».

Значення $ОДВ_k$ дорівнює

$$ОДВ_k = (DB_k \times P(NT_k)) + DB_{к рем} + BH_k, \quad (4.25)$$

а модель оптимального планування черговості обслуговування ГЕД така:

$$\sum_{k=1}^n ОДВ_k \rightarrow \min. \quad (4.26)$$

Умова відбору ГЕД до множини $G(T)$ реалізується на основі моделі (4.26).

При розрахунку $ОДВ_k$ встановлювався період планування, за яким обчислювалися $ОДВ_k$. У той же час в процесі експлуатації можливі події, які вимагають оперативної корекції плану. Ці події призводять до появи нових груп $ИДГ_k$, в яких в період планування можуть статися відмови (за результатами діагностики струмів ЕД). Прийняття рішень щодо таких груп ЕД - завдання оперативного планування експлуатації парку ЕД.

На основі часових рядів спектрів струмів можуть рекомендуватися кілька видів потенційних несправностей одночасно, але з різними періодом їх можливого прояву. Виходячи з цих даних, проводиться розрахунок оцінок надійності транспортної системи, за якими і необхідно вибрати групу ЕД для першочергового обслуговування.

4.9. Нечітка модель планування розподілу електричних двигунів між ремонтними базами з урахуванням спеціалізації та кооперації

Планування ремонтів (діагностування, обслуговування та ін.) об'єктів парку ЕД, з урахуванням розподілу робіт на основі спеціалізації виконавців, виконаємо за допомогою модифікованої відкритої моделі транспортної задачі про «ціле розподіл» з обмеженими пропускними здатностями. Відмітна особливість пропонованої моделі полягає в тому, що в ній коефіцієнти матриці питомих вартостей заздалегідь не можуть бути точно обчислені, а лише представлені нечіткими величинами. Економіко-математична модель планування зазначених робіт, представлена у формі нечіткого математичного програмування (НМП) [81, 85], має наступний вигляд:

$$R(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \hat{C}_{ij} X_{ij} \rightarrow \max_{\{X_{ij}\}}; \quad (4.27)$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} < N_i, \quad (j = \overline{1, n}) \quad \sum_{j=1}^n X_{ij} \leq \hat{d}_i^{(t)}, \quad (i = \overline{1, m}); \quad (4.28)$$

$$X_{ij} \leq \hat{d}_{ij}^{(t)}, \quad (i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}); \quad X_{ij} \geq 0, \quad (i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}). \quad (4.29)$$

В (4.28) – (4.30) позначено: X_{ij} – число заявок (ЕД) типу i , які обслуговує спеціалізована система типу j ; $\hat{C}_{ij}$ – матриця нечітких оцінок питомої ефективності обслуговування; $\hat{d}_{ij}^{(t)}$ – нечітке число заявок типу i в період t . Бінарна операція «+» в моделі (4.27) – (4.29) із знаходження максимуму на заданій нечіткій області позначає додавання нечітких множин.

Розв'язання зазначеної задачі зводиться до вирішення низки завдань лінійного програмування, шляхом введення дискретних α -рівнів для нечітких ве-

личин [79]. При цьому нечіткі обмеження приймають інтервальний вигляд. Для приведення (4.27) - (4.29) до виду звичайної задачі лінійного програмування (ЛП) тепер достатньо записати нерівності окремо по лівому і правому краях інтервалів, з урахуванням знаків нерівності [79]. При цьому кількість обмежень збільшується в два рази, а отримане завдання можна вирішити симплексним методом [75].

Компоненти цільової функції (4.27) являються нечіткими, тому для кожного α -рівня обирають граничні значення відповідно до правил інтервальної арифметики [79]. Якщо X_0 – рішення задачі ЛП на деякій множині рівня α , то число α вважають його ступенем приналежності нечіткій множині рішень задачі (4.27) – (4.29).

Перебравши всілякі значення рівнів α , отримують функцію приналежності нечіткого рішення задачі (4.27) – (4.29). На основі такого нечіткого представлення далі методами нечіткого управління розраховується детермінований розв'язок для представленої моделі планування [79].

Розглянемо питання щодо формування компромісної моделі кооперативної взаємодії виконавців при плануванні процесів експлуатації (ремонтів ЕД) залізничних СП, в яких беруть участь кілька обслуговуючих компаній (ОК) [81, 85]. Планування виконується на основі узагальненої математичної моделі транспортної задачі (4.27) – (4.29). Головна особливість постановки завдання формування компромісної моделі кооперативної взаємодії ОК визначається наступним. Нехай планується робота для двох ОК, кожна з яких має свої виробничі ресурси. Відома матриця питомих вартостей $\hat{C}_{ij}$ оцінки ефективності обслуговування. Необхідно побудувати такий план розподілу ремонтів, щоб мінімізувати витрати (збільшити прибуток) кожної обслуговуючої компанії. Зауважимо, що в класичній моделі потрібна мінімізація сумарних витрат ОК. Зауважимо, що тут витрати (прибуток) деяких з ОК можуть істотно різнитися. У цьому випадку завдання планування може бути формалізоване як багатокритеріальна модель дискретного математичного програмування з бічними платежами. Бічні платежі змістовно означають можливість перерозподілу витрат поза моделі

планування, після виконання робіт, що потребує додаткового узгодження між ОК.

Слід вказати, що класичну детерміновану задачу планування розподілу на основі модифікованої моделі виду (4.27) – (4.29) можна розглядати як компроміс для всіх рівноправних партнерів коаліції. Для обліку нерівнозначності ОК в якості характеристик «важливості» виберемо коефіцієнти, що приймають значення в інтервалі $[0; 1]$, сума яких дорівнює 1. Математична модель наведеної розподільної задачі у векторному вигляді, що представляє загальний випадок оптимального планування при існуванні декількох обслуговуючих компаній (виробничо-технологічних, ремонтних та ін. підрозділів), має наступний вигляд:

$$R(\Psi_k(X)) = \sum_{(k)} \alpha_k \sum_{i \in M(k)} \sum_{j \in N(k)} \hat{C}_{ij}^{(k)} X_{ij}^{(k)} \rightarrow \max_{\{X_{ij}\}}. \quad (4.30)$$

В задачі (4.30) структура системи обмежень у цілому відповідає (4.27) – (4.29), а додаткові елементи моделі означають наступне: $\hat{C}_{ij}^{(k)}$ – оцінки питомої ефективності обслуговування та параметри управління $X_{ij}^{(k)}$ відповідно для k -ї ОК; множини $M(k)$, $N(k)$ визначають число замовлень (ЕД) типу i , які обслуговує спеціалізована система типу j k -ої ОК, відповідно. В (4.30) величини $\Psi_k(X)$ та α_k визначають показник ефективності та ваговий коефіцієнт ОК, одна із можливих форм якої, – адитивна – наведена у правій частині рівняння (4.30).

Вирішуючи узагальнену транспортну задачу виду (4.30), в якій витрати кожної ОК «зважені» коефіцієнтом α_k , отримують деяку ефективну точку області компромісів, області Парето [82]. Розрахувавши рішення задачі виду (3.24) при різних наборах коефіцієнтів важливості ($\{\alpha_k\}$; $\sum_k \alpha_k = 1$), будують компромісну множину (табл. 4.1), в якій далі ОК вибирають узгоджене рішення.

Таблиця 4.1

Компромісно-оптимальні рішення планування процесів експлуатації парків ЕД
на основі узагальненої розподільчої моделі транспортної задачі

OK1	770	794	830	836	1040	1510	1734	2019	2190
OK2	2682	2534	2390	2380	2110	1640	1495	1440	1370
OK1+OK2	3452	3328	3220	3216	3150	3150	3229	3459	3560
Коефіц. α_k	1 0	0,8 0,2	0,7 0,3	0,6 0,4	0,5 0,5	0,4 0,6	0,3 0,7	0,2 0,8	0,1 0,9
OK1*OK2	2,065	2,011	1,98	1,989	2,194	2,476	2,592	2,907	3,00

У табл. 4.1 та на рис. 4.18 представлені результати формування області Парето, де вказані значення цільових функцій витрат (у порівняних еквівалентах) компаній ОК (рядки OK1, OK2), адитивної (рядок OK1 + OK2) і мультиплікативної (рядок OK1*OK2) компромісних моделей $R(\Psi(X^{(*)}))$, а також відповідні значення коефіцієнтів важливості (рядок «коефіц. α_k »).

Розрахунки показали багатоекстремальний характер такого завдання дискретної оптимізації. Так для значень коефіцієнтів важливості α_k (0,5 і 0,5) і (0,4 і 0,6) значення адитивної згортки дорівнює $R(\Psi(X^{(*)})) = 3150$ при істотно різних значеннях часткових цільових функціях операторів OK1 – $\Psi_1(X^{(*)}) = 1040 / 1510$ та OK2 – $\Psi_2(X^{(*)}) = 2120 / 1640$, як і самих векторах рішень, наборах керованих параметрів. З таблиці 4.1 випливає, що області компромісів можливих значень часткових цільових функцій виконавців OK1 і OK2 неоднакові, причому є досить широкі можливості для вибору їх узгодженого рішення.

На рис. 4.18 показано компромісно-оптимальні рішення завдання розподілення робіт двох виконавців для моделі лінійної згортки (верхня лінія), а також нелінійної (пунктир OK1*OK2). При цьому вагові коефіцієнти α_k дорівнювали значенням (1/0; 0,8/0,2; 0,7/0,3; ...). Лінії OK1 і OK2 відповідають величинам обсягів робіт (витратам) окремих операторів. Лінія OK1+OK2 являє комп-

роміс для різних α_k . На графіку відзначається «широка» область «переговорної множини», в якій значення моделі компромісу (4.30) майже однакові. Область компромісно-оптимальних рішень нелінійної моделі кооперативного планування, представлено функцією добутку, в якій порівнюють не абсолютні поступки показників роботи окремих операторів, а відповідні відносні значення (поступка / рівень показника). На графіку моделі ОК1*ОК2 визначається область компромісу із приблизно однаковим рівнем моделі глобального цільового показника (від 2 до 3).

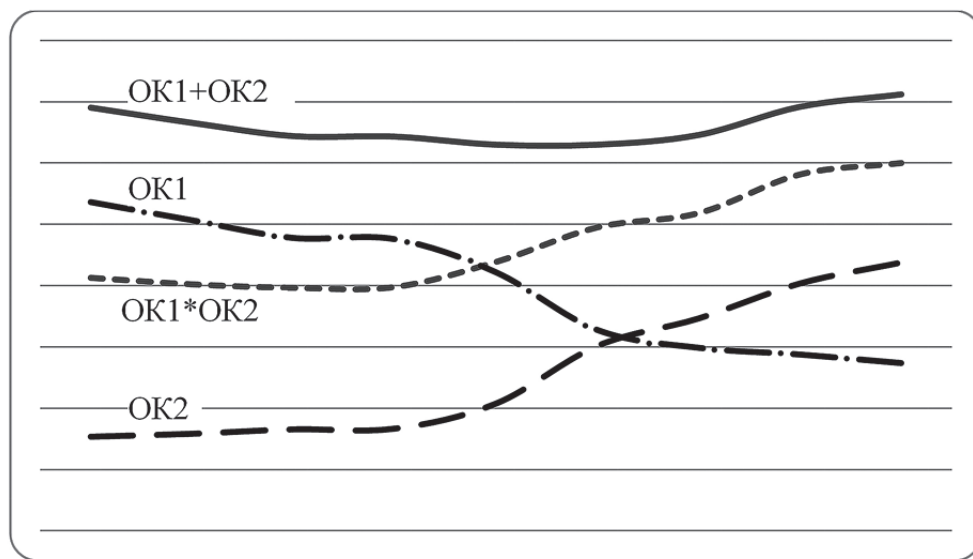


Рисунок 4.18. Графічне представлення множини компромісно-оптимальних рішень лінійної та нелінійної моделей кооперативного планування

ВИСНОВКИ

Одним із важливіших і першочергових завдань залізничного транспорту України є забезпечення технологічної та економічної ефективності технологічних процесів (перевезень, експлуатації, ремонтів тощо). Його успішне вирішення має численні складові, обумовлені рівнем розгляду, об'єктами і предметами аналізу, наявними вихідними даними та засобами реалізації і т.п. У представленій роботі досліджені деякі питання проблеми вдосконалення процесів автоматизованого управління парками ТС залізниць на основі застосування інтелектуальних процедур моделювання, оперативного прогнозування станів і параметрів складних систем і процесів. В цілому вирішення зазначених завдань є актуальною науково-технічною та економіко-технологічною проблемою залізничного транспорту України. Підвищення ефективності та стійкості процесів перевезень та експлуатації на залізницях, зменшення експлуатаційних витрат неможливі без розвитку та функціонування комплексних систем автоматизації, призначених в тому числі для оперативного управління складними процесами технологічного, технічного та економічного змісту. Формально численні технологіко-економічні процеси залізничного транспорту мають ознаки невизначеності, є недетермінованими. Такі ознаки невизначеності мають і певні складові поширених процесів експлуатації парків технічних систем.

Удосконалення процесів автоматизованої експлуатації залізничних парків (вагонів, локомотивів, стрілочних переводів, електродвигунів тощо) або складових компонентів, з урахуванням параметрів поточного та прогнозованого станів, являється сучасною актуальною науково-технічною проблемою. Враховуючи велику кількість та на даний період високий ступінь зношеності таких технічних систем, вона є надзвичайно важливою для залізничного транспорту України. Як нами показано у роботі, останнім часом на основі сучасних методів систем автоматизації і штучного інтелекту отримало розвиток комплексне завдання зі створення автоматизованих систем управління експлуатації парків технічних систем, в тому числі на основі отримання та використання оцінок па-

раметрів поточного стану. Системне застосування таких характеристик відкриває нові можливості для раціональної організації широкого спектру робіт з керування технологічними та іншими процесами ЗТ. В рамках цього напрямку досліджень і розробок знаходяться завдання з організації та інтеграції даних моніторингу, діагностування, а також узагальнення результатів експлуатації парків ТС. Встановлено, що підвищення результативності цих методів і відповідних технологій їх реалізації з урахуванням поточного стану можливе на основі використання засобів інтелектуальних систем: формування аналітичних серверів для АСУ залізничного транспорту, застосування методів онтологічного забезпечення процесів функціонування, моделей кластеризації, методів штучних нейронних мереж, нечітких і нечітко-статистичних моделей, експертних систем. Саме проблематика формування засад та застосування компонентів залізничних інтелектуальних систем, призначених для автоматизованого управління парками ТС, знайшла відображення у представлених результатах досліджень.

В різних сферах діяльності практика експлуатації складних ТС на етапах їх життєвого циклу дозволяє стверджувати про необхідність формування певних інформаційних моделей їх функціонування. Наприклад, було показано що управління експлуатацією парку ЕД ведеться на основі їх індивідуальних моделей з використанням мереж Кохонена, які побудовані за спектральними характеристиками струмів електродвигунів. Саме застосування інтелектуальних індивідуальних моделей дозволило перейти від нормативного методу обслуговування до автоматизованого технічного обслуговування парку ЕД по параметрам їх поточного технічного стану. У цілому розроблені моделі, методи і засоби автоматизації парків ЕД дають можливість їх застосування для експлуатації інших парків технічних систем залізничного транспорту.

Інформаційна модель експлуатації парка локомотивів дозволила розробити метод динамічної інтерактивної оптимізації призначень локомотивів до складу вантажних поїздів, який базується на прогнозуванні інтервалів готовності локомотивів та составів з урахуванням поточної інформації про фактичний хід техно-

логічного процесу і враховує умови мінімізації ризику простоїв. За допомогою методу статистичного моделювання встановлено, що значення ризику простоїв та умови досягнення його мінімуму суттєво залежать як від прогнозованого часу готовності локомотивів та составів, так і від точності прогнозування.

Комплексний характер проблеми інтелектуального управління парками ТС і обмеженість обсягу цієї роботи дозволили представити лише певну частину напрямків і результатів досліджень авторів. Коротко відзначимо деякі інші завдання, спрямовані на формування ІТС залізниць України стосовно парків ТС. Для таких складних систем як ПТС важливим завданням є визначення характеристик ефективності управління. Комплексної оцінки якості управління ПТС визначають методами векторної оптимізації. При цьому частковими компонентами являються експлуатаційні витрати, надійність системи (ризик відмови), додаткові витрати на відновлення функціонування системи. У роботах авторів було показано взаємно компромісний характер відношень між цими величинами, що дозволяє застосовувати аксіоматичні методи векторної оптимізації. Запропоновані моделі планування ураховують різну відповідальність окремих залізничних ділянок і систем що їх обслуговують. Для визначення важливості окремих ТС з урахуванням відповідальності та напруженості перевезень на окремих ділянках залізниць застосовуються моделі методу аналізу ієрархій, нечіткого кластерного аналізу, процедури реалізації сценарного підходу.

Враховуючи необхідність урахування різних видів невизначеності даних про процеси, що відбуваються на ЗТ, розроблено метод модифікованого нечіткого управління типу Такагі-Сугено на основі індексів достовірності, що ураховує нелінійну модель агрегування результатів окремих правил і процедури екстраполяції на основі подібних екземплярів варіантів управління. Також нами запропонована процедура агрегування для підвищення достовірності результатів прогнозування процесів, представлених антиперсистентними часовими рядами.

Іншим методом урахування різних можливих варіантів реалізації процесів за умов невизначеності являються двоетапні моделі оптимального планування,

які ураховують умови ризику і нечіткості даних, що базується на формалізмі нечітких трикутних чисел та ймовірнісних моделях.

Представлені у цій роботі напрями інтелектуалізації АСУ на основі формування систем аналітичних серверів та онтологічного забезпечення процедур моделювання та управління різноманітними залізничними технологіями на даний час являються надзвичайно перспективними і результативними. Їх поступова реалізація дозволить типізувати та уніфікувати розрізнені процеси моделювання та управління на залізничному транспорті, застосувати до них універсальні та ефективні методи інтелектуальних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Айзинбуд С.Я. Вопросы организации работы локомотивных бригад. // Труды РИИЖТа, вып. 54. Рига, 1966.
2. Автоматизована система керування вантажними перевезеннями (АСК ВП УЗ). Одержання, оброблення та надання управлінському персоналу інформації про стан та дислокацію ТРС в інтерактивному режимі з використанням серверу застосувань АСК ВП УЗ (099727.0.12.01.0.001). Опис застосування (Керівництво користувача).
3. Автоматизована система керування вантажними перевезеннями (АСК ВП УЗ). Планування парку локомотивів відповідно до графіку руху поїздів. Технологія автоматизованого планування парку ТРС відповідно до графіку руху поїздів (140015.0.28.02.0.001). Технологія.
4. Автоматизована система керування вантажними перевезеннями (АСК ВП УЗ). Управління експлуатаційною роботою і оперативним плануванням парку ТРС. Інформаційна підтримка поточного планування та управління ресурсами ТРС (140015.0.12.03.0.001) Опис постановки задачі (Загальний опис).
5. Автоматизована система керування вантажними перевезеннями – АСК ВП УЗ. Технічне завдання.
6. Автоматизована система управління локомотивним господарством УЗ (АСУ Т). Технічне завдання.
7. Александров А.Э. Автоматизированная система прогнозирования поездообразования на сортировочной станции. / Александров А.Э., Пермикин В.Ю., Шавзис С.С. // Информационные технологии на железнодорожном транспорте. – Сочи: РГУПС, 2001. – с.5-6.
8. Александров А.Э. Применение имитационной модели для автоматизированного расчета поездообразования на сортировочной станции / Александров А.Э., Пермикин В.Ю., // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Всероссийская научно-практическая конференция. – Екатеринбург: УрГУПС. – Том 2 - 2002. – с.26-31.

9. Александров А.Э. Прогнозирование поездообразования на сортировочной станции с применением имитационного моделирования. / Александров А.Э., Ковалев И.А., Пермикин В.Ю. // Теория и практика имитационного моделирования и создание тренажеров: Международная научно-практическая конференция. – Пенза: ПДЗ, 2002. – с.59-65.
10. Алексеев О. Г. Комплексное применение методов дискретной оптимизации. М.: Наука, 1987, 248 с.
11. Андронов А. М., Копытов Е. А., Гринглаз Л. Я. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник для вузов. Изд-во «ВНУ», 2004 г, 464 стр.
12. Асанов М.О., Баранский В.А., Расин В.В. / Дискретная математика: графы, матроиды, алгоритмы. М: 2001, - 288 с.
13. Барсегян А.А., Куприянов М.С. Модели и методы анализа данных: OLAP и Data Mining.. Санкт-Петербург, 2004. – 336 с.
14. Беляев Л.С. Решение сложных оптимизационных задач в условиях неопределенности. Новосибирск: Наука, 1987. - 128 с.
15. Блекуэлл, М.А.Гиршик. Теория игр и статистических решений. М. Издательство иностранной литературы, 1958 г. 376 с.
16. Буряк С. Ю. Дистанционное диагностирование состояния стрелочных переводов по временной характеристике и спектральному составу токовой кривой / С.Ю. Буряк, В.И. Гаврилюк, О.А. Гололобова// Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2014. – Вип. 2(56). – С. 39 – 57.
17. Бутько Т. В. Технологія інтелектуального управління сортувальною станцією на основі багатоцільової оптимізації з використанням генетичних алгоритмів / Т. В. Бутько, В. М. Прохоров, Д. М. Чехунов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2018. – № 4. – С. 45–55.
18. Бутько Т.В. Управление работой сортировочной станции в единой информационно-управляющей системе Укрзализниці с использованием методов краткосрочного прогнозирования. / Бутько Т.В., Калашнікова Т.Ю. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - 2000.- №2. - с.32-35.

19. Бутько Т. В. Формалізація процесу управління парком вантажних вагонів операторських компаній / Т.В. Бутько, О.Е. Шандер // Восточно – Европейский журнал передовых технологий, №2/3 (68). - 2014, Харків. - 55-58с.
20. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М: Наука, 1969. – 576 с.
21. Гапанович В.А. Построение и использование матриц рисков в системе управления рисками на железнодорожном транспорте [Текст] / В.А. Гапанович, И.Б. Шубинский, А.М.Замішляев // - М: Надежность, 2011, №4 (39)., с. 56-68.
22. Геєць В.М., Клебанова Т.С., Черняк О.І. Моделі і методи соціально-економічного прогнозування. – Харків. ВД ІНЖЕК, 2005. – 396 с.
23. 9у. Дж.Гласс, Дж.Стенли. Статистические методы в прогнозировании. М.: Прогресс, 1976.
24. Дувалян С.В. Совершенствование организации работы локомотивных бригад. // Труды ЦНИИ МПС, вып. 423, М., “Транспорт”, 1970. буд
25. Душкин Д.Н. Сетецентрические технологии: эволюция, текущее положение и области дальнейших исследований // Д.Н. Душкин, М.П. Фархадов / Автоматизация и современные технологии. - М.: Машиностроение. - № 1. - 2012. - С. 21-29.
26. Елманова Н., Федоров А. Введение в OLAP-технологии Microsoft //М. “Диалог МИФИ” – 1998, 268 с. 5у. Елманова Н., Федоров А. Введение в OLAP-технологии Microsoft //М. “Диалог МИФИ” – 1998, 268 с.
27. Жуковицкий И.В. Використання аналітичних серверів АСК ВП УЗ для управління вантажними перевезеннями / И.В. Жуковицкий, В.В. Скалозуб, А.Б. Устенко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – № 4. – С. 50–51.
28. И.В.Жуковицкий, А.Б.Устенко, О.Л.Зиненко Метод интерактивной динамической оптимизации распределения локомотивов для работы в поездах на основе оценки рисков. – “Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті” – 2006. - №4

29. Жуковицький І.В. Моделювання процесу оперативного планування роботи локомотивного парку і локомотивних бригад. / Жуковицький І.В., Скалозуб В.В., Ветрова О.В., Зіненко О.Л. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна. – Вип. 12–Д., 2006. – С.74-78.
30. Жуковицький І.В. Моделирование процесса оперативного планирования работы локомотивного парка. / Жуковицький І.В., Скалозуб В.В., Ветрова А.В., Зіненко О.Л. // Локомотив-інформ. – П., 2007. - №6. - С.12-13.
31. Жуковицький І.В. Оптимізація планування призначення локомотивів для роботи в поїздах за критерієм мінімуму ризику. / Жуковицький І.В., Зіненко О.Л. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Х., 2007. - №4. С.15-19.
32. Жуковицький І.В. Принципи використання аналітичних серверів в автоматизованій системі управління локомотивним господарством УЗ (АСУ Т) / І.В. Жуковицький, А.Б. Устенко, О.Л. Зі-ненко // «Залізничний транспорт України». – № 5/6. – Київ, 2013. – С. 43-49.
33. Жуковицький І.В. Принципи побудови системи підтримки прийняття рішень і управління вантажними перевезеннями на основі аналітичних серверів АСК ВП УЗ / Жуковицький І.В., Скалозуб В.В., Устенко А.Б. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 17. – Д., Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна., 2007. – С.28-34.
34. Жуковицький І.В. Питання підвищення ефективності технологічних та експлуатаційних процесів залізничного транспорту засобами інтелектуальних систем / І. В. Жуковицький, В. В. Скалозуб // Системні технології. Регіональний міжвузівський зб. наукових праць. – 2016. – Випуск 3 (104). – С. 20-24.
35. Зіненко О.Л. Підвищення ефективності використання локомотивного парку шляхом удосконалення автоматизованих систем управління експлуатаційною роботою / О.Л. Зіненко // Дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата

технічних наук зі спеціальності 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. Дніпропетровськ, 2010.

36. Інструкція з оперативного планування поїзної і вантажної роботи на залізницях України. - Київ: ДНДЦ, УЗ, 2004. - 38 с.

37. Інструкція з руху поїздів і маневрової роботи на залізницях України. Введена в дію наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 31.08.2005 року № 507.

38. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування: ЦШ 0060. – К.: Укрзалізниця, 2009. – 111 с.

39. Ишков П.В. Виртуализация: основа построения эффективных ИТ // П.В. Ишков /Автоматика, связь, информатика. - № 2. - 2012. - С. 11 - 13.

40. Калашнікова Т.Ю. Модель забезпечення взаємодії функціонування системи «депо-станція-пергін». // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - 2002. - №2. - с.67-69.

41. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. Изд-во «ВНУ», 2005 г, 400 стр.

42. Кедрус В.А. Использование теории массового обслуживания в экспертной системе управления работой локомотивов и локомотивных бригад. / Кедрус В.А., Новожилова Т.Н. // Тез.докл. 7-й международной школы-семинара “Микропроцессорные системы связи и управления на железнодорожном транспорте”. – Киев: , 1994. с.17.

43. Кедрус В.А. Определение задач экспертной системы управления эксплуатацией локомотивов. / Кедрус В.А., Новожилова Т.Н. // Тез.докл. республ. Школы-семинара “Микропроцессорные системы связи и управления на железнодорожном транспорте” . – Киев: 1993. с.35.

44. Кинаш С.А. Унификация архитектурных решений для АСУ РЖД // С.А. Кинаш / Автоматика, связь, информатика. - №7. - 2007. - С. 20-21.

45. Классификация и каталог дефектов и повреждений элементов электрических переводов железных дорог Украины. – Днепропетровск: Арт-Прес, 2000. – 148 с.

46. 12у. П.А.Козлов. Построение автоматизированных аналитических систем на железнодорожном транспорте. / П.А.Козлов, О.В.Осокин. // Управление большими системами. Сборник трудов Института проблем управления вып 12-13, стр.78 //М.2006 г.
47. Косолапов А.А. Тенденції розвитку архітектури автоматизованих систем керування / А.А. Косолапов, І.В. Жуковицький // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (86). - Днепропетровск, 2013. – С.62 – 71.
48. Крюков Н.Д. Автоматизация сменно-суточного планирования эксплуатационной работой дороги. М.: Транспорт, 1975. – С. 111-120.
49. Ладыгина З.З. Совершенствование именных расписаний локомотивных бригад с помощью ЭЦВМ. // Труды ВНИИЖТа, вып.382. М., “Транспорт”, 1969.
50. Лакин И.И. Использование методов теории нечетких множеств при управлении рисками в системе мониторинга эксплуатации локомотивов [Текст] / И.И. Лакин, // Труды VI Международной научно-практической конференции «Транспортная инфраструктура сибирского региона», ИрГУПС, Иркутск, 2015 — с. 338 — 343.
51. Лакин И.К. Модель управления рисками отказов локомотивов [Текст] / И.К. Лакин, А.А. Аболмасов, В.А. Мельников // Мир Транспорта (МИИТ), 2013, №6.
52. Лакин И.К., Аболмасов А.А. Особенности применения статистических методов анализ при управлении надежностью локомотивов [Текст] Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов: материалы второй научно-практической конференции. - М.: ООО «Локомотивные технологии», 2015 г. с.180-185.
53. Лоу А. М., Кельтон В. Д. Имитационное моделирование. Классика CS. Изд-во “Питер”. 2004 г, 848 стр.

54. Луханін М.І. Нестабільність роботи підсистеми розформування. / Луханін М.І., Селецький В.С. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - 2000. - №2. - с.74-77.
55. Луханін М.І. Удосконалена модель підсистеми розформування поїздів на сортувальній станції. / Луханін М.І., Селецький В.С. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - 2000. - №6. - с.71-74.
56. Маловічко В. В. Визначення діагностичних ознак для автоматизованого контролю технічного стану стрілочного електродвигуна / В. В. Маловічко, В. І. Гаврилюк, В. Я. Кізяков // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 16. – С. 9–12.
57. Д.В.Максимов. Автоматизация составления графика оборота локомотивов // Труды ВНИИЖТа, 1980. Вып. 633., С. 86-96.
58. Мирзахмедов Э. А. Расчеты на ЭВМ оптимального плана прикрепления локомотивных бригад к ниткам графика движения поездов по пунктам оборота. / Мирзахмедов Э. А., Соловьев В.И. // ЦНИИ ТЭИ МПС. “Вычислительная техника”, 1973, №3.
59. Моргунов. А. И Взаимодействие автоматизированной системы планирования прикрепления локомотивов к составам поездов с другими АСУ// Вестник ВНИИЖТ, 2004, № 4.
60. Моргунов А. И. Задача о назначениях и планирование работы железнодорожного транспорта // Вестник ВНИИЖТ. 2004. № 6. С. 25-28.
61. Ю.А.Муха. Основные принципы алгоритмизации составления графиков оборота, работы и отдыха локомотивных бригад пассажирских поездов с помощью ЭВМ. / Ю.А.Муха, С.И. Нестеренко. // Труды ДИИТа, 1980, вып. 252
62. Ю.А.Муха. Основные принципы увязки поездов в пары по пунктам оборота. / Ю.А.Муха, С.И. Нестеренко, Н.К.Кравченко. // Труды ДИИТа, 1980, вып. 252

63. Муха Ю.А. Цель и этапы разработки автоматизированных комплексов и систем по планированию и организации работы локомотивных бригад в рамках АСУЖТ. // Труды ДИИТа, выпуск 213/13, 1971.
64. Наказ від 10.03.1994р. № 40-Ц «Про введення в дію особливостей регулювання робочого часу і часу відпочинку окремих категорій працівників, безпосередньо пов'язаних із забезпеченням безпеки руху поїздів і обслуговуванням пасажирів на залізницях і метрополітенах України».
65. Некрашевич В. И. Автоматизация управления локомотивным парком. / Некрашевич В. И., Ковалев В. Н., Сальченко В. Л. // Железнодорожный транспорт. 2000. №5, стр. 30-35.
66. Некрашевич В.И. Использование поездных локомотивов в грузовом движении. Гомель: БелГУТ, 2001, - 270 с.
67. Некрашевич В. И. Комплексное нормирование локомотивного парка / Некрашевич В. И., Ковалев В. Н., Сальченко В. Л. // Железнодорожный транспорт. 2001. №8, стр. 58-61.
68. В. И. Некрашевич Проблема адаптации графика движения грузовых поездов к колебаниям вагонопотоков. // Вестник ВНИИЖТ, 2006, №4
69. Некрашевич В. И. Технология комплексного оперативного планирования работы локомотивов грузового движения в условиях автоматизации / Некрашевич В. И., Моргунов А. И. // Вестник ВНИИЖТ. 2005. №3
70. Некрашевич В. И. Улучшение использования локомотивов и организации работы локомотивных бригад. / Некрашевич В. И., Ковалев В. Н., Сальченко В. Л. // Железнодорожный транспорт. Сер. "Организация движения и пассажирские перевозки". – ЭИ ЦНИИТЭИ МПС. 2001. Вып. 4. – 38 стр.
71. Некрашевич В. И. Управление эксплуатацией локомотивов. / Апатцев В. И. // Учеб. пособие. – М.: РГОТУПС, 2001. 196 с.
72. Нестеренко С.И. Методика комплексного планирования локомотивных бригад депо на предстоящий планируемый год. // Труды ДИИТа, выпуск 213/13, 1971.

73. Новожилова Т.Н. Использование экспертной системы для ведение ведомостей оборота локомотивных бригад // Микропроцессорные информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. Межвуз. Сб.науч. Тр. Хар.ГЖТ, вып.30. – Харьков, 1995.
74. Отнес Р., Эноксон Л. Прикладной анализ временных рядов. – М. Мир, 1982. – 428 с.
75. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат // Пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2009. – 798 с.
76. Песаран М., Слейтер Л. Динамическая регрессия: теория и алгоритмы. – М.: Финансы и статистика. 1984. – 310 с.
77. Разгонов А. П. Автоматизация процессов диагностики электродвигателей стрелочных переводов в условиях эксплуатации / А. П. Разгонов, А. Б. Руденко, В. В. Скалозуб, О. М. Швец // Залізничний транспорт України. – 2009. – № 6. – С. 20–22
78. Рыжиков Ю.И. Имитационное моделирование: теория и технологии. издательство "Альтекс-А" • 2004 г, 380 стр.
79. 67. 11у. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л.: Пер. с польск. И. Д. Рудинского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с. : ил.
80. Підсистема автоматизованого контролю дислокації та стану локомотивів і локомотивних бригад рівня залізниці (ОКДЛ, ОКДБ) АСК ВП УЗ. Технічне завдання.
81. Пшінько О.М., Скалозуб В. В. Нечіткі економіко-математичні моделі планування процесів експлуатації класів виробничо-технічних систем / Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна «Проблеми економіки транспорту» , вип. 12, 2016. – С. 94 – 102.
82. Саати Т., Кернес А. Метод анализа иерархий / Т. Саати, А. Кернес // – М.: Мир. 1991. – 352 с/

83. Сафрис Л.В. К использованию методов статистических решений в системах управления. / Сафрис Л.В., Сафрис В.Л. // Автоматизированные системы управления технологическими процессами на железнодорожных станциях. Межвуз. сб. научн. тр. – Вып. 224/11. – Днепропетровск: ДИИТ. - 1982. - С.30-39.
84. Ситник В.Ф. Системи підтримки прийняття рішень. - Київ: КНЕУ, 2004. - 614 с.
85. Скалозуб В. В. Економіко-технологічні моделі аналізу і управління експлуатацією парків електричних двигунів залізничних стрілочних переводів [Текст] / В.В. Скалозуб, В.М. Осовик, І.В. Клименко //В зб. «Проблеми економіки транспорту», вип. 9, 2014. – С. 129 – 137.
86. Скалозуб В.В. Интеллектуальные информационные технологии и системы железнодорожного транспорта / Скалозуб В.В., Цейтлин С.Ю., Чередниченко М.С. / Монография «Системные технологии моделирования сложных процессов». – Днепр, НМетАУ – ИВК «Системные технологии». 2016. - С. 560 – 589.
87. озуб В.В. Интеллектуальные транспортные системы железнодорожного транспорта (основы инновационных технологий) [Текст]: пособие / В. В. Скалозуб, В. П. Соловьев, И. В. Жукович-кий, К. В. Гончаров – Д.: Изд-во Днепропетр. нац. ун-та ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2013. – 207 с.
88. Скалозуб В. В., Швец О. М., Осовик В. Н. Методы интеллекту-альных транспортных систем в задачах управления парками объектов железнодорожного транспорта по текущему состоянию /У зб. «Питання прикладної математики і математичного моделювання», Дніпропетровськ: Вид-во ДНУ, 2014. С. 229 – 242.
89. Скалозуб В.В. Метод оптимального планування на основі моделі нечіткої транспортної задачі. / Скалозуб В.В., Ветрова О.В. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені акад. В. Лазаряна, №6, 2007. С. 56 – 63.
90. 1. Скалозуб В. В. Метод и информационные технологии нечетко-статистического управления / В. В. Скалозуб // Системні технології. Регіональ-

ний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1 (50). – Дніпропетровськ, 2008. – С. 120 – 127.

91. Скалозуб, И.В. Клименко. Метод планирования недетерминированных процессов эксплуатации парка железнодорожных технических систем // В зб. «Наука і прогрес транспорту», ДНУЗТ, Дніпро, 2018, вип. №5. – С. 74 – 85. (проверить)

92. Скалозуб В. В., Шинкаренко В. І., Цейтлін С. Ю., Чередниченко М. С. Моделі онтологічної підтримки автоматизованих систем керування залізничними вантажними перевезеннями в Україні // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. 2017. Выпуск 5 (112). С. 158-165.

93. Скалозуб В.В., Цейтлин С.Ю., Великодний В.В. Объектно-ориентированные модели стохастических нестационарных потоков в транспортных сетях // Системні технології, № 3 (14), 2001. С. 141 – 150.

94. Скалозуб В.В. Розвиток процедур аналізу та прогнозування недетермінованих технолого-економічних процесів на основі показників хаотичної динаміки / В.В. Скалозуб, И.В. Клименко // Економіка: реалії часу. № 4 (26), 2016. – С. 82 – 90.

95. Скалозуб В.В., Жуковицкий И.В., Клименко И.В. Создание интеллектуальных систем поддержки принятия решений в единой автоматизированной системе управления грузовыми железнодорожными перевозками Украины // Системні технології, Дніпро, 2018.- 3(116) – С.153-162.

96. Строгалева В. П., Толкачева И. О. Имитационное моделирование. — МГТУ им. Баумана, 2008. — С. 697-737

97. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. - М. Издательский дом Вильямс, 2006. - 1104 с.

98. Дж.Ханк, Д.Уичерн, А.Райтс. Прогнозирование в бизнесе. Изд-во "Вильямс"- 2003. 656 с.

99. Хэмди А. Таха. Введение в исследование операций. М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. 912 с.

100. Цейтлин С.Ю. Типовые проектные решения для создания АСУ ВП УЗ-Е // С.Ю. Цейтлин, В.К. Башлаев / Тезисы Международной научно-практической конференции "Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании" (15.05.2008-16.05.2008), Днепропетровск. - 2008. - С. 31-32.
101. Шве́ц О. М. Классификация объектов по частотному спектру на основе адаптивной базы нечетко-статистических правил / О. М. Шве́ц // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3 (68). – Дніпропетровськ, 2010. – С. 133–139.
102. Шинкаренко, В. И. Конструктивно-продукционная модель графового представления текста [Текст2] / В. И. Шинкаренко, Е С Куропятник // Проблеми програмування. – 2016. – № 2-3. – С. 63-72.
103. Шухман А.Е. Эмпирический анализ методов решения задачи о назначениях / Шухман А.Е., Шухман Е.В. // Вызовы XXI века и образование. Материалы всеросс. науч.-пр. конференции. – Оренбург, ОГУ, 2006. – 230 с.
104. Юдин Д.Б. Математические методы управления в условиях неполной информации. М.: Советское радио, 1974. 400 с.
105. Baun C. Cloud Computing. Web-Based Dynamic IT Services // C. Baun / Springer-Verlag, Berlin. - 2011. - 108 p.
106. Druzdzel M. J., Flynn R. R. Decision Support Systems. Encyclopedia of Library and Information Science. — A. Kent, Marcel Dekker, Inc., 1999.
107. Guarino, N. Formal ontology and information systems [Textc2] / N. Guarino //Proceedings of FOIS. – 1998. – V. 98. – N. 1998. – P. 81-97.
108. Breitsprecher, T. Towards Ontological Support for Principle Solutions [Textc2] / T. Breitsprecher, M. Codescu, C. Jucovschi, M. Kohlhase, L. Schröder, S. Wartzack // Mechanical Engineering. InFOIS. – 2014. – V. 5. – P. 427-432.
109. Paul Goodwin and George Wright, Decision Analysis for Management Judgment, 3rd edition. Chichester: Wiley, 2004

110. Kazi1, Z. Ontology-Based System for Conceptual Data Model Evaluation [Textc2] / Z. Kazi1, L. Kazi1, B. Radulovic1, M. Bhatt // International Arab Journal of Information Technology. – 2016. – V. 13, N. 5. – p. 542-551.
111. Robert Clemen. Making Hard Decisions: An Introduction to Decision Analysis, 2nd edition. Belmont CA: Duxbury Press, 1996. (covers normative decision theory)
112. Kees van der Heijden Scenarios: The Art of Strategic Conversation, 2005
113. Kohonen T. Self-Organizing Maps / Teuvo Kohonen. – Springer-Verlag, 2001. – 501 p.
114. Skalozub V., Illman V., Shynkarenko V. Design of ontological support of constructive-synthesizing modeling of developing information systems// Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 5/4 (95). P. 70-78.
115. Skalozub V., Illman V., Shynkarenko V. Development of ontological support of constructive-synthesizing modeling of information systems // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 6/4 (90). P. 58-69. doi: 10.15587/1729-4061.2017.119497
116. Skalozub, V. Methods of ontological support of constructive-synthesizing modeling of developing information systems [Text] / V. Skalozub, V. Illman, V. Shynkarenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Skalozub, V. Methods of ontological support of constructive-synthesizing modeling of developing information systems [Text] / V. Skalozub, V. Illman, V. Shynkarenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. Vol. 5/5