

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра управління експлуатаційною роботою

**ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ СТВОРЕННЯ ГРАФІКУ РУХУ
ВИСОКОШВИДКІСНИХ ПОЇЗДІВ З АВТОМАТИЧНИМ
РЕГУЛЮВАННЯМ ШВИДКОСТІ РУХУ**

Пояснювальна записка та розрахунки
до випускної кваліфікаційної роботи

Розробила студент групи 221-ОПУТ-Д20
спеціальності 275/275.02 (роботу
виконано самостійно, відповідно до
принципів академічної доброчесності)

_____ Віолета СИТНИК

(підпис)

Керівник: професор, д-р техн. наук,
Денис ЛОМОТЬКО

Рецензент: професор, д-р техн. наук
Олександр ОГАР

2022

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет управління процесами перевезень

Кафедра транспортні системи та логістика

Освітній рівень: магістр

Спеціальність 275.02 «Транспортні технології (на залізничному транспорті)»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри ТСЛ, проф. д.т.н.

(вчене звання)

_____ Д.В. Ломотько

(підпис)

(ініціали і прізвище)

«__» _____ 2022р.

ЗАВДАННЯ

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Ситник Віолета Валеріївна

1. Тема проекту (роботи): *Формування системи створення графіку руху високошвидкісних поїздів з автоматичним регулюванням швидкості руху*

Затверджена розпорядженням по факультету УПП № 01/22 від «24» січня 2022 р.

2. Строк здачі закінченої роботи – 20 травня 2022 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи): Технологічний процес роботи станції із високошвидкісним рухом пасажирських поїздів. Технічно-розпорядницький акт станцій із високошвидкісним рухом пасажирських поїздів. Характеристика

технології роботи залізничного напрямку із високошвидкісним рухом пасажирських поїздів. Звітні дані про основні показники роботи за останні роки. Нормативна, навчальна і науково-технічна література за спеціальністю. Дані, які зібрані на переддипломної практиці.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці): Аналіз вітчизняного і закордонного досвіду та публікацій з організації роботи залізничних станцій в умовах реалізації сучасних технологій роботи із пасажирами. Аналіз показників роботи залізничних станцій напрямку в умовах реалізації швидкісного руху. Технологічна характеристика існуючого та перспективного залізничного швидкісного напрямку. Структура автоматичної системи нечіткого задання графіка швидкості руху рухомого об'єкта з її корекцією за фактичними параметрами проїзду. Формалізація ситуаційних систем нечіткого керування швидкістю руху швидкісних пасажирських поїздів. Застосування методу нечіткого висновку при вирішенні задач нечіткого керування швидкістю рухомої одиниці. Економічне обґрунтування запропонованих заходів.

5. Перелік обов'язкового графічного матеріалу: схема напрямку, основні обсяги та показники перевезень, перспективний графік руху на напрямку із швидкісним рухом поїздів, таблиця техніко-економічних показників. Графічний матеріал оформляється у вигляді презентації MS Power Point. Інші матеріали встановлюється студентом у процесі виконання проекту (роботи) за узгодженням з керівником.

6. Консультанти окремих розділів проекту (роботи)

Розділ роботи	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання одержав
Економічне обґрунтування запропонованих заходів	Доцент, к.е.н Балака Є.І.		

7. Дата видачі завдання «26» березня 2022 р.

Керівник проекту (роботи) _____ Д.В. Ломотько

Студент _____ В. В. Ситник

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
	Аналіз вітчизняного і закордонного досвіду організації роботи залізничних станцій в умовах реалізації швидкісного руху.	10.02.2022	
	Аналіз показників роботи залізничних станцій напрямку в умовах реалізації швидкісного руху.	01.03.2022	
	Технологічна характеристика існуючого та перспективного залізничного швидкісного напрямку.	25.03.2022	
	Структура автоматичної системи нечіткого задання графіка швидкості руху рухомого об'єкта з її корекцією за фактичними параметрами проїзду.	05.04.2022	
	Формалізація ситуаційних систем нечіткого керування швидкістю руху швидкісних пасажирських поїздів.	15.04.2022	
	Застосування методу нечіткого висновку при вирішенні задач нечіткого керування швидкістю рухомої одиниці.	30.04.2022	
	Економічне обґрунтування запропонованих заходів	10.05.2022	

Керівник проекту (роботи) _____ Д.В. Ломотько

Студент _____ В. В. Ситник

Зміст

Вступ	8
1 Аналіз існуючих систем керування рухом високошвидкісних поїздів та постановка завдання проєктування	9
1.1 Аналіз останніх досліджень і публікацій розвитку високошвидкісного магістрального транспорту	9
1.2 Аналіз структур та вимог до ІКС високошвидкісним транспортом (ІКС ВТ) та залізничної станції (ІКС ЗС)	14
1.2.1 Вимога до архітектури ІКС ЗС	14
1.2.2 Вимоги до функціонального складу ІКС ЗС	16
1.3 Вимоги до ІКС диспетчерського керування рухом	18
1.4 Вимоги до організації передачі даних по радіоканалу	22
1.5 Вимоги до структури БК рухомого складу	27
1.6 Вимоги до ІКС енергопостачання й контролю енергоспоживання	32
1.7 Вимоги до структурної схеми районного диспетчерського пункту (РДП)	34
1.8 Висновки до розділу	36
2 Структура автоматичної системи нечіткого задання графіка швидкості руху рухомого об'єкта з її корекцією за фактичними параметрами проїзду	38
3 Формалізація ситуаційних систем нечіткого керування швидкістю руху	49
3.1. Теоретичні основи моделювання складних транспортних систем	50
3.1.1. Основні поняття та визначення	50

					УТКПЗ.300.00.00.000 ПЗ					
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>						
<i>Розроб.</i>	Ситник				Формування системи створення графіку руху високошвидкісних поїздів з автоматичним регулюванням швидкості руху	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>		
<i>Перевір.</i>	Ломотько						5	110		
<i>Реценз.</i>						УкрДУЗТ				
<i>Н. контр</i>										
<i>Затв.</i>	Ломотько									

3.1.2 Матричні моделі	53
3.1.3 Мережеві моделі	54
3.1.4 Мережі Петрі	54
3.1.5. Застосування теорії масового обслуговування (МО) для опису транспортних завдань	57
3.2 Теорія розподілів	58
3.3 Принципи організації системи ситуаційного управління рухом рухомого складу з урахуванням технічного стану колії та ПЕ	64
3.4 Організація обчислень із використанням нечітких функціональних відношень	65
3.5. Декларативні знання для автоматичного формування у реальному часі моделі поточної ситуації	66
3.5.1. Фрагмент ситуації, який описує наповнення рухомої одиниці.	66
3.5.2. Фрагмент ситуації, який описує кількість пасажирів на зупинці.	69
3.5.3. Фрагмент ситуації, яка характеризує технічний стан ПЕ	70
3.5.4. Фрагмент ситуації, який характеризує стан колії	73
4. Застосування методу нечіткого висновку при вирішенні задач нечіткого керування швидкістю рухомої одиниці	75
4.1 Архітектура системи нечіткого керування	75
4.1.1 Логична модель блока формування заданого графіка швидкості рухомої одиниці	82
4.2 Нечітка модель формування заданого графіка швидкості рухомої одиниці	83
4.3 Нечітка система формування і регулювання заданого графіка швидкості рухомої одиниці	84
4.4 Нечітка модель регулювання швидкості рухомої одиниці	85
4.5 Висновки до розділу	95
5 Техніко-економічне обґрунтування проекту	97

5.1 Ефективність заходів, направлених на прискорення науково-технічного прогресу	97
5.2 Методика визначення економічного ефекту	97
5.3 Розрахунок економічного ефекту	100
5.4 Висновки до розділу	104
Список використаних джерел	105

Вступ

Об'єктом дослідження і проектування є адаптивні системи автоматичного керування рейковим високошвидкісним транспортом. Відомості про технічну реалізацію і характерисункутики адаптивних систем автоматичного керування засобами рейкового високошвидкісного транспорту (СУРВТ) розвинених країн, в яких викориснукутовуються швидкості руху 200 - 350 км/год) в літературі відсутні, носять рекламний характер [1,2,3,4,17-22], так як такі системи разом з новітніми інформаційними технологіями і технологіями автоматичного керування засобами рейкового транспорту становлять стратегічний ресурс держав, світових фірм - виробників залізничного складу та обладнання [3].

Ці системи повинні вирішувати такі заданя автоматичного оперативно-диспетчерського керування:

- збір і обробку інформації про поточний технічний стан поїздів, їх розміщення і параметри руху;

- автоматичне ведення, зміну і оптимізацію графіків руху поїздів;

- документування даних і дій машиністів, диспетчерів і систем автоматичного керування при зростанні швидкості руху поїздів.

В дипломі сформульовано основні вимоги до моделі системи автоматичного керування поїздом з нечітким заданям швидкості руху, запропоновано структуру моделі системи нечіткого заданя швидкості з адаптивною корекцією помилки регулювання швидкості за фактичними параметрами проїзду на ділянках слідування, побудований варіант нелінійного графіка зміни заданої швидкості руху для різних режимів проходження ділянок проїзду.

Ключові слова: *модель, адаптивна система, графік руху, високошвидкісний поїзд, адаптивна корекція швидкості, фактичні параметри слідування*

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РУХОМ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ПОЇЗДІВ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ПРОЄКТУВАННЯ

1.1 Аналіз останніх досліджень і публікацій розвитку високошвидкісного магістрального транспорту

В [1-4] представлений короткий огляд розвитку високошвидкісного магістрального (ВСМ) залізничного руху в світі (США, Франції, Німеччини, Великобританії, Італії, Іспанії, Швеції, Японії) за останні роки. В основу огляду покладено стале уявлення про те, що високошвидкісним вважається рух поїздів по модернізованим шляхах існуючих ліній зі швидкостями від 200 км/год до 350 км/год, а також рух поїздів по спеціалізованим високошвидкісним магістралям зі швидкостями від 250 км/год до 350 км/год.

В [5,6] розглянуто методи теорії тягових розрахунків для реалізації графіків руху поїздів (ГРП). В [7,8] запропоновані методи реалізації кривих ГРП гарантованої точності з викориснуванням спрощених нечітких і нечітких мереж. В [9] вивчено питання розробки та дослідження інформаційно-керуючої та контролюючої системи, оптимізації процесу керування електроприводами поїздів приміського сполучення. Запропоновано структуру системи та її окремих блоків. Розроблено математичні моделі електромеханічних систем дизель- і електропоїздів, з викориснуванням яких знайдено оптимальні керування рухом поїздів та керування роботою енергетичного обладнання. Розроблено системи контролю на підставі таксономічного показника для виявлення розладнань і контролю динамічних характериснутиків. Запропоновано нейронну мережу прогнозування процесів боксування. Розроблено систему підтримки прийняття рішень машиністом для економії енергоресурсів.

В [10,11] розглянуті перспективи розвитку регульованого електроприводу і автоматизованих систем ведення та аналізу графіка виконаного руху. В [12,13,14,16] запропоновані нові методи і моделі дискретних адаптивних регуляторів і адаптивних фільтрів для керування об'єктами високого порядку з запізненням, що викориснуто використовують критерій гарантованої ступеня стійкості, що не вимагає знаходження всіх коренів характеристического рівняння замкнутої системи керування поїздом, що враховує зміну параметрів моделі об'єкта і перешкод. В [15] розглянуто національна транспортна стратегія України на період до 2030 року. В [17] предложена процедура автоматизованої побудови графіка руху поїздів на залізничному напрямку, в [18] запропоновано формування процедури автоматизації розробки графіку руху поїздів на основі алгоритму штучних бджолиних колоній. В [19] методом дослідження є системний підхід до поставленої проблеми пропуску вантажних поїздів різної маси на залізничному напрямку. Науковою новизною є визначення раціональних швидкостей руху вантажних поїздів різної маси за присункукорення руху пасажирських поїздів. В [20] проведено аналіз системи аналізу графіка виконаного руху пасажирських та приміських поїздів в ПАТ "Укрзалізниця" (УЗ), її поточних можливостей та запропоновано напрямки розвитку: фіксація інформації про стан стаціонарних та рухомих об'єктів; визначення рівня виконання графіка руху пасажирських і приміських поїздів по станціям посадки/висадки пасажирів.

В [21] запропоновано метод моделювання розповсюдження затримки у нециклічному графіку руху поїздів з урахуванням технічних і технологічних особливостей залізничної мережі змішаного руху пасажирських і вантажних поїздів. Розроблено процедуру дослідження впливу затримки поїздів у нормативному графіку руху поїздів на базі оптимізаційної математичної моделі побудови графіку руху поїздів з урахування заданої первинної затримки. Проведено експериментальні дослідження моделювання поширення затримки поїздів у нормативному графіку руху поїздів з урахуванням взаємоув'язки

залізничних дільниць. В [22] формалізовано технологічний процес перевезення вантажу на напрямку у вигляді оптимізаційної математичної моделі процесу просування вантажних вагонів. Цільова функція моделі представляє сукупні експлуатаційні витрати та заснована на викорискуванні інтеграла Лебега-Стілт'єса. Оптимізаційна модель є основою формування автоматизованої технології керування вантажними перевезеннями, яку пропонується реалізувати у вигляді системи підтримки прийняття рішень диспетчерського апарату.

В [23] УЗ склала новий графік руху пасажирських поїздів у рух на 2022 рік: змінять 58% маршрутів, додадуть 18 нових поїздів. Також в УЗ обіцяють полагодити один із двох двоповерхових електропоїздів Skoda, який курсуватиме між Києвом та Тернополем. Міжнародне сполучення на 2022 рік заплановане у вигляді 14 маршрутів. Додасться дві пари поїздів у напрямку польського Пшемисля. Також у планах УЗ поєднати прямим залізничним сполученням Київ зі столицею Молдови,

Як приклад, розглянемо представлений найбільшим світовим виробником залізничного складу - компанією Bombardier Transportation на конгресі Eurail Speed 2005 [3] і виставці в Мілані у вигляді макетів, моделей і віртуальних презентацій, проект перспективного високошвидкісного поїзда Zefiro з розподіленою тягою, розрахованого на максимальну швидкість 350 км/год

Середній термін створення високошвидкісних поїздів від початку роботи над проектом до освоєння серійного виробництва і введення в комерційну експлуатацію коливається від 8 до 15 років. Поїзд Zefiro [3] призначений для експлуатації на внутрішніх і міжнародних маршрутах на лініях, електрифікованих за різними системами тягового постачання (до чотирьох) і оснащених різними системами сигналізації та керування рухом поїздів.

Розробка поїзда велася з урахуванням максимальної економічної ефективності для компаній-операторів, яка досягається за рахунок відносно низьких експлуатаційних витрат. Один з варіантів дизайнерської опрацювання зовнішнього вигляду поїзда Zefiro наведено на рисунку 1.1. Відомості про

основні його розмірних і технічних характеристик, а також розрахункових умовах експлуатації наведено в [3].



Рисунок. 1.1 Один з варіантів зовнішнього вигляду поїзда Zefiro

Основні розмірні характеристики поїзда Zefiro 300: довжина чотирехвагонного поїзда - 100м, 16-вагонного - 400м

Основні технічні характеристики поїзда Zefiro 300: конструкційна швидкість 350км/год; присункукорення - $0,57\text{м/с}^2$ (з розрахунковим числом пасажирів), $0,7\text{ м/с}^2$ (при максимальною експлуатаційною швидкістю); максимальна тягова міцність - 8200кВт; нахил рейок 1:40; радіус прохідних кривих - 600м (вертикальної опуклої) і 900м (вертикальної увігнутої) 150м (горизонтальної для поїзда), 120м (горизонтальної для одиночного вагона).

Формування поїзду. Поїзди Zefiro незалежно від складових формуються з вагонів трьох типів: кінцевих моторних (Mc), проміжних моторних (M) і проміжних причіпних з струмоприймачем (Tp) і без струмоприймача (T).

З цих вагонів комплектуються так звані базові чотирехвагонні секції двох видів: секція 1 (для варіантів поїзда з максимальною швидкістю 250 і 300 км/ч) - Mc1 + TP1 + T1 + M1; секція 2 для 250 км/год - Mc2 + TP2 + T2 + T3, для 300км/год - Mc2 + TP2 + T2 + M2. З двох секцій формується восьмивагонного поїзд, з чотирьох - 16-вагонний.

Проведений аналіз показав:

1. В існуючих системах керування локомотивом взаємодіють дві системи керування (автоматичної локомотивної сигналізації і безпеки АЛС та автоматичного блокування АБ і електричної централізації ЕЦ) з інтегрованим в них оператором (машиністом), який є їх складовою частиною [16].

2. В даний час автоматично здійснюється тільки екстрене гальмування. Система автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС) видає дискретну інформацію про швидкість у вигляді показань локомотивного світлофора (зелений, жовтий, жовто-червоний, червоний, місячно-білий). Відповідно до цього машиніст керує рукояткою контролера, яка має 16 позицій - тепловоз пасажирський, 8 позицій - маневровий, 4 -електровоз великої потужності.

3. Основними недоліками існуючих систем реалізації автоматичного керування високошвидкісними рухомими об'єктами (РО) в Україні є:

- відсутність комп'ютерних нечітких моделей та систем автоматичного задання графіка швидкості руху, прогнозування та адаптивної корекції швидкості руху поїздів за фактичними параметрами проїзду;

- відсутність автоматичної корекції параметрів настройки регуляторів в контурах керування рухом поїздів при зміні параметрів об'єктів і перешкод (маса m , величини радіусів прохідних кривих r ; підйомів/ухилів j (профіль колії), поточні зміни співвідношень корисункуних сигналів до перешкод у вхідних ланцюгах регуляторів);

- значна залежність і зніження ефективності керування від суб'єктивних і обмежених фізіологічними характерисункутики якостей машиністів і диспетчерів при зростанні швидкості руху і зміні поточних ситуацій.

1.2 Аналіз структур та вимог до ІКС високошвидкісним транспортом (ІКС ВТ) та залізничної станції (ІКС ЗС)

1.2.1 Вимога до архітектури ІКС ЗС

Архітектура інформаційно-керуючої системи залізничної станції являє собою ієрархічну багаторівневу структуру. Верхнім щаблем ієрархії системи є інформаційно-обчислювальний комплекс керування залізничним високошвидкісним транспортом (ІОК ВКЗТ). Підлеглими щаблями ієрархії системи є підсистеми ІКС ЗС.

ІКС ЗС включає наступні підсистеми:

- диспетчерського керування високошвидкісним рухом;
- енергопостачання й контролю енергоспоживання;
- безпеки руху;
- планування розвитку залізничних транспортних систем;
- планування ремонту й відновлення рухомого складу;
- колійного господарства;
- бухгалтерського обліку, контролю й аналізу господарської діяльності;
- постачання (запасні частини, пально-мастильні матеріали й т.п.).

Кожна підсистема являє собою функціонально закінчений блок і має ієрархічну багаторівневу структуру. Оскільки кожна підсистема функціонально закінчена, внутрішня структура багаторівнев і розгалужена, вирішує спеціалізоване і досить об'ємне коло завдань, комплекс технічних засобів різних по складу й потужності й кожній підсистемі може функціонувати незалежно від інших і від верхнього рівня ІКС ЗС вони можуть розглядатися, як самостійні інформаційно-керуючі системи.

Верхній щабель ієрархії ІКС ЗС (ІОК ВКЗТ) виконує аналітико-статистичні функції в масштабах усього залізничного транспорту.

Структура інформаційно-керуючої системи залізничного транспорту

наведена на рисунку 1.2.

Кожна із систем, що входять в ІКС ЗС, має свій замкнутий цикл обороту інформації. Потік інформації від нижніх рівнів ієрархії системи до верхнього реалізує контролюючу функцію ІКС. Ці сигнали є вихідними даними для виготовлення відповідних диспетчерських керуючих впливів на верхньому рівні. Потік інформації від верхніх рівнів до нижнього реалізує функцію керування ІКС. Цей потік містить безпосередньо диспетчерські керуючі впливи для нижніх рівнів.

На верхніх рівнях систем, за результатами функціонування, формуються звіти, що є інформаційними потоками для передачі на верхній рівень ІКС ЗС. Ці потоки містять інформацію аналітичного й статистичного характеру.

Спадний потік інформації верхнього рівня ІКС ЗС містить керуючі впливи для систем нижнього рівня.

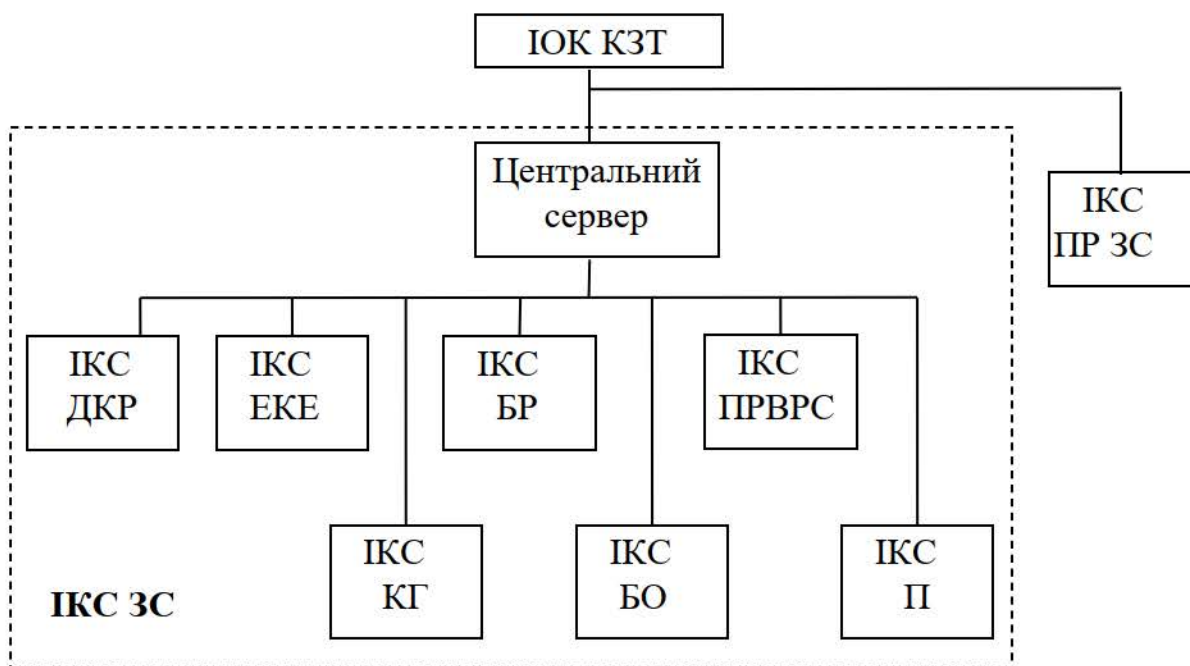


Рисунок 1.2 - Структура ІКС ЗС ІОК ВКЗТ - інформаційно-обчислювальний комплекс керування залізничним транспортом;

ІКС ДКР - ІКС диспетчерського керування рухом залізничного

транспорту;

ІКС ЕКЕ - ІКС енергопостачання й контролю енергоспоживання;

ІКС БР - ІКС безпеки руху;

ІКС ПР ЗС - ІКС планування розвитку залізничного електротранспорту;

ІКС ПРВРС - ІКС планування ремонту й відновлення рухомого складу;

ІКС КГ - ІКС колійного господарства;

ІКС БО - ІКС бухгалтерського обліку, контролю й аналізу господарської діяльності;

ІКС П - ІКС постачання.

1.2.2 Вимоги до функціонального складу ІКС ЗС

На основі аналізу потреб міського електротранспорту зроблений висновок, що для забезпечення його високоефективної роботи системи ІКС ЗС повинні виконувати наступні основні функції.

Функції інформаційно-керуючої системи диспетчерського керування рухом:

- складання оптимального розкладу руху залізничного транспорту;
- контроль за виконанням розкладу рухом залізничного транспорту;
- визначення наповнення РО;
- забезпечення двостороннього обміну мовною інформацією між диспетчером і водієм РО;
- забезпечення передачі цифрової інформації до водіїв РО, у вигляді диспетчерських керівництва індивідуально для кожної РО або для групи РО;
- ідентифікація й позиціонування РО, при викориснанні радіоканалу, у будь-якій точці маршрутної мережі.

Функції інформаційно-керуючої системи енергопостачання й контролю енергоспоживання:

- забезпечення безперервного енергопостачання міського електричного транспорту;
- забезпечення обміну інформацією із системами керування електропостачаючих підприємств;
- облік витрати електроенергії;
- розробка комплексу мер раціональної витрати електроенергії і її економії;
- діагностика й ремонт кабельно-контактної мережі й підвісок;
- діагностика й ремонт тягових випрямних підстанцій;
- забезпечення необхідної робочої напруги в контактній мережі;
- телеконтроль робочої напруги контактної мережі;
- забезпечення відводу електроенергії з мінімальними втратами через рейки.

Функції інформаційно-керуючої системи безпеки руху:

- розробка комплексу мер по попередженню дорожньо-транспортних випадків (ДТВ);
- облік й аналіз ДТВ;
- забезпечення оперативного зв'язку з органами Державної автомобільної інспекції.

Функції інформаційно-керуючої системи планування розвитку міського електротранспорту:

- розробка комплексу мер по поліпшенню якісних показників експлуатованих транспортних ліній;
- коректування місць зупинних пунктів;
- вибір оптимальних місць зупинних пунктів у місцях пересадки пасажирів з одного виду транспорту на інший;
- проектування транспортних ліній у нових районах міста.

Функції інформаційно-керуючої системи планування ремонту й відновлення рухомого складу:

- створення оптимальної системи діагностики й ремонту рухомого складу;

- визначення термін списування відпрацьованого парку рухомого складу по технічному стані й моральному старінні і його заміні новим парком;
- створення й експлуатування системи діагностики рухомого складу “на ходу” на базі бортового контролера рухомої одиниці.

Функції інформаційно-керуючої системи колійного господарства:

- поточне утримання й експлуатація колії;
- автоматизований контроль стану колійного господарства;
- плановий й аварійний ремонт колії;
- прокладка нових рейкових ліній.

Функції інформаційно-керуючої системи бухгалтерського обліку, контролю й аналізу господарської діяльності залізничного транспорту:

- бухгалтерський облік;
- планування експлуатаційної роботи;
- планування капітальних вкладень;
- оплата праці;
- визначення собівартості перевезень;
- фінансова діяльність залізничного електротранспорту.

Функції інформаційно-керуючої системи постачання:

- постачання пально-мастильними матеріалами, забезпечення необхідного запасу й розробка комплексу мер їхньої раціональної витрати;
- постачання запасними частинами, агрегатами ПС і забезпечення необхідного їхнього запасу;
- постачання матеріалами для капітального ремонту колії й контактної мережі, тягових підстанцій, мобільних аварійних засобів і т.д.

1.3 Вимоги до ІКС диспетчерського керування рухом

Інформаційно-керуюча система диспетчерського керування рухом

побудований по трех-рівневого принципі (рисунок 1.3).

Центральний диспетчерський пункт керування рухом залізничного транспорту є верхнім рівнем системи, на якому здійснюється координація пасажирських і вантажних перевезень у масштабах міста. Центральний диспетчерський пункт керування рухом залізничного транспорту являє собою локальну інформаційно-обчислювальну мережу шинної топології.

У цю локальну мережу включені сервери (основні й резервний), модеми, автоматизовані робочі місця центрального диспетчера, помічників центрального диспетчера, керівників. Локальна мережа центрального диспетчерського пункту керування рухом залізничного транспорту з'єднана каналами зв'язку із середнім рівнем ІКС диспетчерського керування рухом і верхнім рівнем ІКС ЗС.

По кожному виді пасажирського транспорту (електричний, автобусний, маршрутне таксі) організовується центральний диспетчерський пункт керування (середній рівень). На цьому рівні реалізуються практично всі функції системи по збору й обробки інформації, контролю й керуванню пасажирськими й вантажними перевезеннями. У локальну інформаційно-обчислювальну мережу, на базі якої побудований комплекс технічних засобів центрального диспетчерського пункту керування, включені сервери (основний і резервний), контролер радіозв'язку, модеми, автоматизовані робочі місця диспетчерського персоналу й керівників. Даний рівень пов'язаний з верхнім рівнем провідним каналом зв'язку й радіоканалом з нижнім рівнем. Нижнім рівнем інформаційно-керуючої системи диспетчерського керування рухом є парк рухомих одиниць, обладнаних бортовими контролерами (БК).

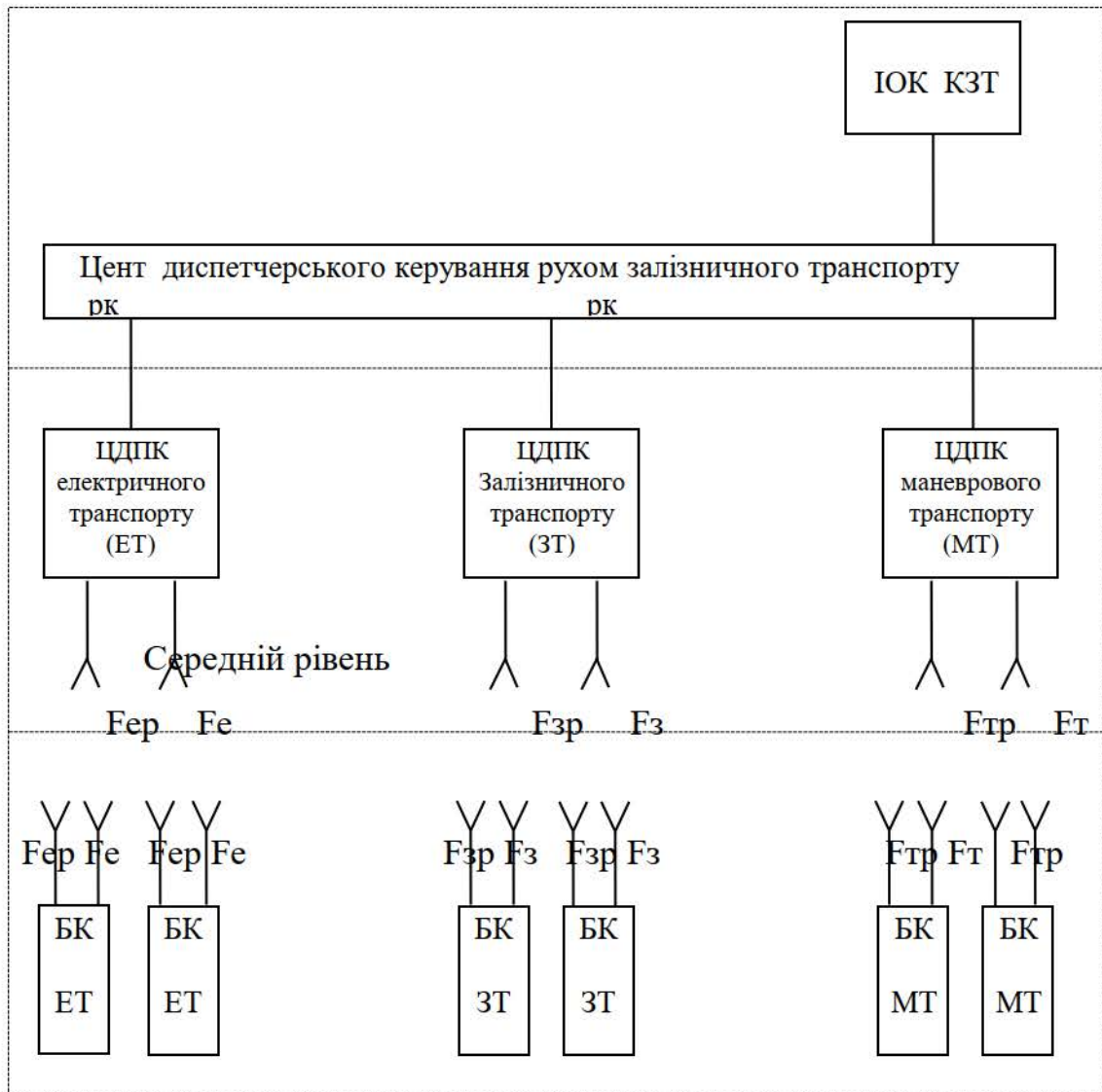
Застосування БК на рухомих одиницях раціонально для транспортних підприємств із кількістю рухомого складу понад тисячу рухомих одиниць. Парк рухомого складу електричного транспорту міста Харкова нараховує біля однієї тисячі ста п'ятдесяти одиниць, тому застосування бортових контролерів на залізничних транспортах буде ефективним. Парк вантажного транспорту набагато менше, тому впровадження бортових контролерів для цих видів

залізничного транспорту передбачається в перспективі.

ПЕ є об'єктом керування й контролю інформаційно-керуючої системи диспетчерського керування рухом. Бортовий контролер збирає первинну інформацію про місце розташування рухомої одиниці на маршруті, технічному стані рухомої одиниці, наповненні рухомої одиниці й по запиті центрального диспетчерського пункту керування передає по радіоканалі цю інформацію не рідше двох разів за хвилину.

Для кожного виду залізничного транспорту необхідно не менш двох радіоканалів. По одному радіоканалі будуть передаватися двосторонні мовні переговори диспетчера й водія рухомої одиниці. По іншому радіоканалі також буде організований двосторонній обмін службовою інформацією: від диспетчера до водія РО будуть передаватися стандартні диспетчерські команди, від бортового контролера рухомої одиниці в диспетчерський пункт - сигнали контролю.

Верхній рівень



Нижній рівень

Рисунок 1.3 - Структура ІКС диспетчерського керування рухом

ІОК ВКЗТ - інформаційно-обчислювальний комплекс керування залізничним транспортом; рк - радіоканал; ЦДПК - центральний диспетчерський пункт керування; БК - бортовий контролер

1.4 Вимоги до організації передачі даних по радіоканалу

Комплекс технічних засобів, що забезпечують передачу даних по радіоканалу між середнім і нижнім рівнями інформаційно-керуючої системи диспетчерського керування рухом, наведений на рисунку. 1.4.

Автоматизоване робоче місце диспетчера містить у собі наступні присункутрії: контролер, включений у локальну інформаційно-обчислювальну мережу центрального диспетчерського пункту керування; переговорний присункутрій (мікрофон, гучномовець, присункутрій введення-виведення мовного сигналу); присункутрій відображення (дисплей, друкувальний присункутрій); клавіатуру.

Контролер радіозв'язку забезпечує передачу даних, прийнятих по радіоканалі від РО в мережу ЦДПК міським транспортом, і передачу даних у радіомодем із цієї ж мережі для наступного їхнього модулювання, кодування й передачі по радіоканалі на РО.

Радіомодем забезпечує модулювання й кодування переданого сигналу й демодулювання й декодування прийнятого сигналу.

Радіостанція підсилює переданий сигнал до необхідного рівня й передає в ефір, а прийнятий сигнал підсилює до рівня робочого діапазону напруг радіомодема.

Радіомодем і радіостанція рухомої одиниці виконують ті ж функції, що й відповідні присункутрії центрального диспетчерського пункту керування.

Також ідентичні між собою переговорні присункутрії рухомої одиниці й автоматизованого робочого місця диспетчера.

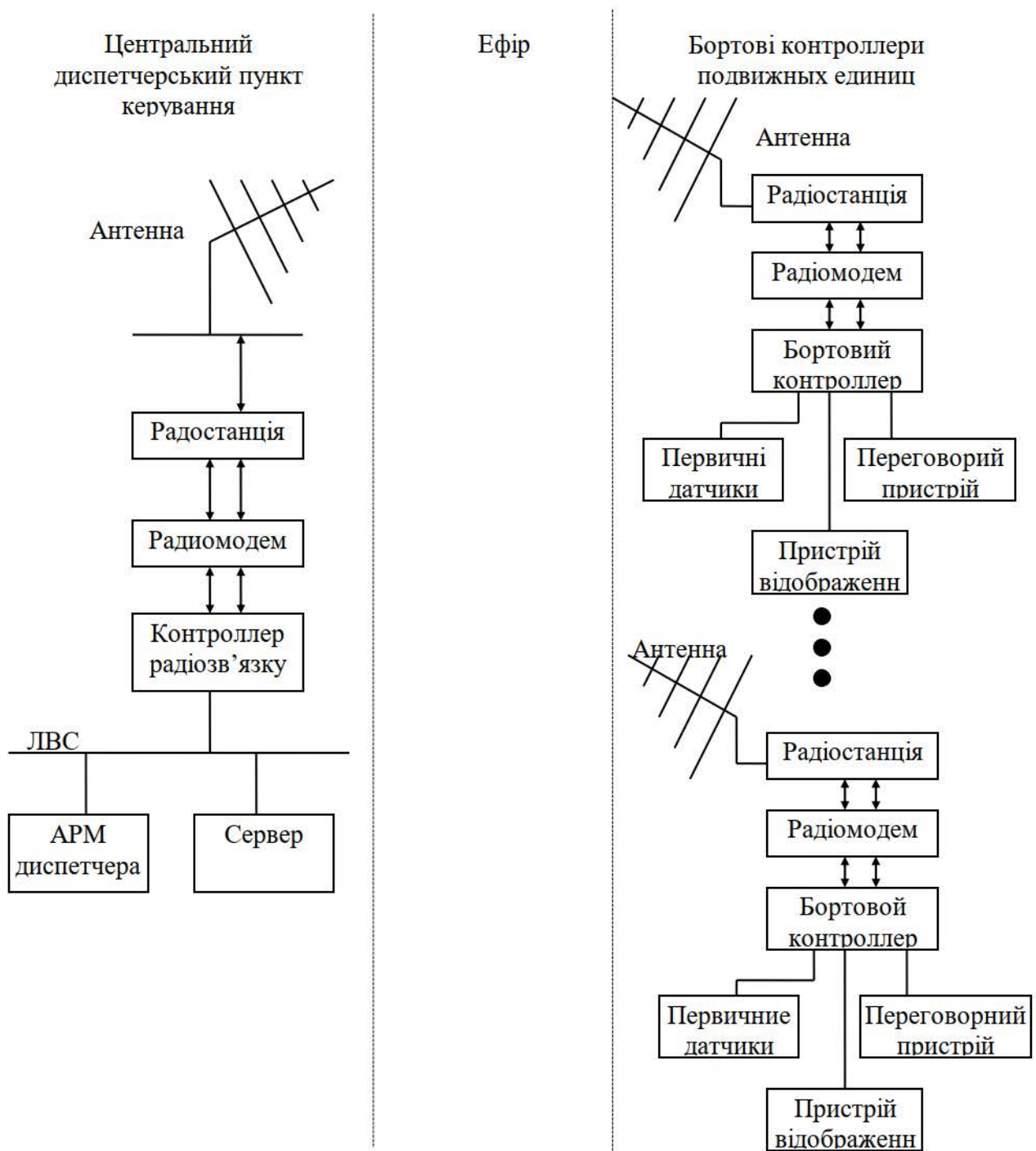


Рисунок 1.4 - Структура комплексу технічних засобів для організації передачі даних по радіоканалі між БК РО й ЦДПК залізничним транспортом

Присункутрій відображення РО являє собою буквено-цифровий індикатор, на якому висвечиваються диспетчерські розпорядження (службова

інформація) у вигляді фраз і повідомлення про неполадки присункутроїв РО.

Сигнали первинних датчиків рухомої одиниці формують інформацію про поточний технічний стан РО, місці розташування на маршруті, наповнення РО.

Канали передачі даних (мовний і диспетчерсько-контрольний) рознесені по несучих частотах. Для забезпечення цього необхідне застосування двохканальних радіомодемів і радіостанцій. На мал. 5 наявність цих двох дуплексних каналів зображено двома паралельними стрілками, а на мал. 4 виділені індексами при несучих частотах: $F_{ер}$, $F_{зр}$, $F_{тр}$ - несучі частоти радіоканалів мовних переговорів по видах транспорту відповідно (е - електротранспорт, з – залізничного транспорту,

т - маршрутне таксі); $F_{е}$, $F_{з}$, $F_{т}$ - несучі частоти диспетчерсько-контрольних (далі цифрових) радіоканалів по видах транспорту відповідно.

Далі будуть визначені формати переданих сигналів.

Сигнал виклику на мовний зв'язок, переданий по цифровому радіоканалі (якщо ініціатор диспетчер) містить старт-біти, вибірну частину (вид електротранспорту: трамвай, тролейбус), адресну частину (номер рухомої одиниці, номер маршруту), командну частину (виклик на зв'язок), стоп-біти. Бортовий контролер рухомої одиниці, який адресований запит, прийнявши й обробивши дану команду, виводить її на індикаторі. Водій, сприйнявши команду, перемкнувши переговорний присункутрої у режим передачі, підтверджує готовність до переговорів усно, і цей сигнал передається по мовному радіоканалі. Подальші переговори ведуться по мовному радіоканалі з тимчасовим поділом приймання й передачі (шляхом почергового включення режимів приймання й передачі). Закінчення переговорів настає після відключення переговорних присункутроїв.

Сигнал виклику на мовний зв'язок, переданий по цифровому каналі (якщо ініціатор водій рухомої одиниці), містить старт-біти, адресну частину, вид команди (сигнал контролю або запит на зв'язок), інформаційну частину (вид транспорту, номер маршруту, номер рухомої одиниці), стоп-біти. Подальші дії

водія й диспетчера аналогічні, як якби ініціатором переговорів був диспетчер, тільки готовність до переговорів підтверджує диспетчер.

Сигнали диспетчерських розпоряджень аналогічні сигналам виклику на зв'язок з боку диспетчера. Однак, за допомогою можливостей вибіркої й адресної частин сигналу можна передавати диспетчерські розпорядження не тільки водієві однієї рухомої одиниці (індивідуально), а всім рухомих одиницям одного маршруту, всім рухомих одиницям одного виду транспорту, всьому парку електричного транспорту.

Диспетчерське розпорядження може бути як стандартне, тобто з певного списку регламентованих команд, так і нестандартне, тобто набране вручну посимвольно. Такий формат командної частини значно збільшує тривалість переданого сигналу, однак, при цьому збільшується гнучкість диспетчерського керування, тому що є можливість передати команду декільком рухомих одиницям одного маршруту, декільком маршрутам одного виду транспорту, декільком маршрутам усього електричного транспорту.

Будь-яка прийнята бортовим контролером диспетчерська команда, після висновку її на індикатор супроводжується звуковим сигналом для залучення уваги водія рухомої одиниці. Звуковий сигнал відключається водієм після сприйняття їм прийнятої команди.

Сигнали контролю з рухомої одиниці передаються відразу після проходження контрольного пункту. При цьому саме поняття "контрольний пункт" досить умовно. Набагато вірніше його можна назвати контрольною точкою. Ці контрольні точки виходять у такий спосіб. Кожен маршрут розбивається на кілька ділянок, і границі цих ділянок є контрольними точками. Місце розташування цих точок визначає бортовий контролер, тому що в його пам'яті зберігається довжина маршруту й пікетажне розташування контрольних точок. Рухома одиниця забезпечується лічильником пройденої колії, що обнуляється на кожному закінченому пункті. У міру наближення до кожної наступної контрольної точки, бортовий контролер звертається до лічильника

пройденої колії, і, якщо показання лічильника зрівнялося з пікетажним положенням контрольної точки, то контролер фіксує час її проходження. Точність визначення контрольної точки на маршруті залежить від точності лічильника пройденої колії. При збільшенні точності лічильника пройденої колії погрішність визначення контрольної точки істотно зменшується.

По прибуттю на закінчення пункт водій скидає лічильник пройденої колії й бортовий контролер передає сигнал контролю, що свідчить про проходження маршруту. На центральному диспетчерському пості керування аналізується час прибуття в закінченні пункт і виробляються рекомендації для відновлення графіка руху, визначається час відправлення. Диспетчерська команда про час відправлення передається в бортовий контролер. Якщо поточний час, відлічуваний таймером реального часу, і порівнюване з ним час відправлення зрівнялися, контролер висвітлюється на індикаторі команду "відправлення" й обертає на цю увагу водія звуковим сигналом.

Сигнал контролю з рухомої одиниці передається по диспетчерсько-контрольному радіоканалі й містить старт-біт, адресну частину, командна частина (сигнал контролю або запит на зв'язок), інформаційну частину (вид транспорту, номер маршруту, номер рухомої одиниці, номер контрольної точки, час проходження контрольної точки, коефіцієнт наповнення), технічну частину (ця частина передається, якщо бортовим контролером виявлені відхилення нормальної роботи рухомої одиниці й містить вид відхилення), стоп-біт.

Якщо центральний диспетчерський пункт керування рух електротранспорту одержав сигнал контролю, він посилає сигнал підтвердження. Якщо ж бортовий контролер не одержав цього підтвердження, то після закінчення деякого часу після посилки сигналу контролю, сигнал контролю бортовим контролером буде переданий стільки разів і доти, поки зі ЦПК не буде отримане підтвердження про його прийняття або ж поки рухома одиниця не проїде наступний контрольний пункт, а далі все повториться.

Як видно з наведеного аналізу форматів переданих сигналів, сигнали

запиту на зв'язок, як з боку диспетчера, так і з боку водія рухомої одиниці, мають певну тривалість; сигнали диспетчерських розпоряджень можуть бути як постійної довжини (якщо команда зі стандартного набору), так і змінної (якщо команда набрана вручну); тривалість же мовних сигналів обмежується тільки часом настроювання на приймання або передачу.

1.5 Вимоги до структури БК рухомого складу

Сучасна бортова мікропроцесорна система керування являє собою ієрархічну структуру, у яку входять місцеві бортові мікропроцесорні контролери, внутрісистемний мультіплексивний канал зв'язку й керуюча бортова мікро-ЕОМ. Контролер повинен бути закінченим блоком, здатним автономно й самостійно виконувати всі функції локальної підсистеми. Тому в його структуру, крім блоків, що забезпечують виконання функції керування, повинні входити й деякі специфічні структурні елементи: місцеві органи керування й індикації, засоби формування констант й уставок підсистеми регулювання з можливістю їхньої зміни безпосередньо на об'єкті (ручне керування), присункутрій для автоматичного перезапуску виконання програми у випадку її останова при збоях. Це забезпечує автономність роботи контролера, зручність і простоту настроювання й експлуатації систем, дозволяють підвищити надійність і завадостійкість.

Обладнення парку експлуатованого рухомого складу електричного транспорту м. Харкова вищеописаними контролерами недоцільно через технічну невідповідність застарілої техніки присункутроїв складів сучасним досягненням мікропроцесорної техніки. Вищеописані бортові контролери застосовні тільки до сучасних моделей рухомого складу.

Експлуатований рухомий склад електричного транспорту м. Харкова можна обладнати бортовими інформаційно-керуючими контролерами з меншим спектром розв'язуваних завдань, у яких функція керування реалізується через

водія, а функція збору й обробки інформації - автоматично (бортовим контролером). Структурна схема такого контролера наведена на рисунку. 4. Центральний процесорний елемент складається безпосередньо з мікроконтролера, елементів пам'яті, паралельних і послідовних портів вводу-висновку, тактового генератора

Присункутрій введення аналогових сигналів складається з елементів гальванічної розв'язки, комутуючого елемента й аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Елементи гальванічної розв'язки служать для гальванічного поділу струмів аналогових датчиків і струмів елементів бортового контролера. Комутуючий присункутрій служить для почергового підключення аналогових датчиків до АЦП. Оскільки АЦП досить дорогий присункутрій і наявність його на кожному каналі аналогового сигналу необов'язково, те можна застосовувати один або два АЦП, що комутують на кілька джерел сигналів. АЦП перетворює аналоговий сигнал у його цифровий еквівалент. При числі АЦП більше одного необхідно ще один комутуючий присункутрій для почергового підключення аналого-цифрових перетворювачів до магістралі даних CPU.

Присункутрій введення сигналів від цифрових датчиків складається з елементів гальванічної розв'язки й комутуючого присункутровою. Їхні призначення ідентичні аналогічним елементам присункутровою введення аналогових сигналів.

Присункутрій введення-виведення мовних сигналів складається з елементів гальванічної розв'язки, АЦП (для перетворення аналогового сигналу від мікрофона переговорного присункутровою в цифровий еквівалент), цифро-аналогового перетворювача (для перетворення цифрових сигналів мовних повідомлень диспетчера, прийнятих із центрального поста, в аналоговий сигнал для наступного відтворення звуку гучномовцем переговорного присункутровою).

Бортовий контролер складається з убудованого блоку й виносних присункутровоїв.

Убудований блок (далі бортовий контролер) містить у собі наступні присункутрої:

- центральний процесорний елемент (CPU);
- присункутрої введення аналогових сигналів;
- присункутрої введення цифрових сигналів;
- присункутрої введення-виведення мовних сигналів;
- таймер реального часу;
- радіомодем (RS 232);
- радіостанцію.

До витривалих присункутроїв відносять:

- аналогові датчики;
- цифрові датчики;
- клавіатура;
- буквено-цифровий індикатор;
- зчитувальний присункутрої;
- переговорний присункутрої;
- присункутрої звукового сигналу;
- антена.

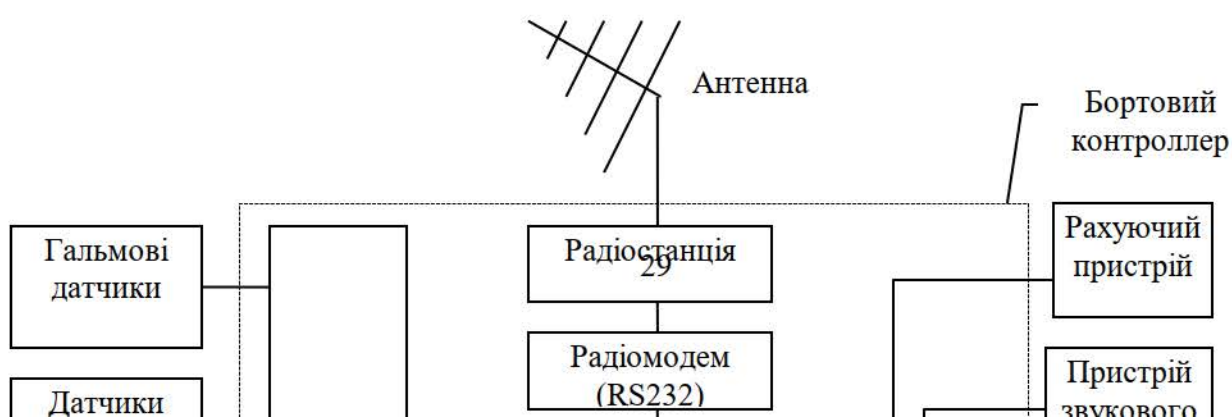


Рисунок 1.5 - Структурна схема БК рухомого складу

Датчики технічного стану рухомої одиниці (як аналогові так і цифрові) об'єднані по своєму призначенню в групу, у яку входять гальмові датчики, датчики тиску шин, датчики буксових вузлів, датчик зчїпки, датчики освітлення, датчик енергоспоживання.

Аналогові датчики формують уніфікований аналоговий сигнал (4÷20 ма (0÷10 У)), що характеризує стан контрольованого об'єкта. Ці сигнали після перетворення в цифровий еквівалент присункутросем введення аналогових

сигналів вводяться в центральний процесорний елемент для обробки.

Цифрові датчики формують цифровий код, що характеризує стан контрольованого об'єкта. Ці сигнали після перетворення присункутровою введення цифрових сигналів вводяться в CPU для наступної обробки.

Клавіатура забезпечує діалоговий режим спілкування водія й бортового контролера. За допомогою клавіатури водій уводить команди, що задають режими роботи контролера (вмикання-вимикання переговорного присункутровою, перемикання режимів “приймання”/”передача”, запити на довідкові відомості, виклик на зв'язок диспетчера).

Буквено-цифровий індикатор формує інформацію для візуального її сприйняття водієм у вигляді фраз, що містять буквені й цифрові символи. На індикаторі бортовий контролер відображає прийняті диспетчерські команди, повідомлення про неполадки в системі рухомої одиниці, довідкові відомості, запитувані водієм (час, місця розташування на маршруті й т.д.).

Зчитувальний присункутрій призначено для зчитування з магнітного носія інформації про номер маршруту, призначений для рухомій одиниці, довжині маршруту й пікетажному положенні контрольних точок. Ця інформація заноситься на згадку бортового контролера один раз й зберігається там доти поки рухома одиниця буде звертатися на записаному маршруті. При зміні маршруту обігу рухомої одиниці необхідний перезапис нового маршруту.

Переговірний присункутрій містить у собі мікрофон і гучномовець. Мікрофон перетворює звуковий сигнал в аналоговий електричний, а гучномовець - аналоговий електричний сигнал у звуковий.

За допомогою присункутровою звукового сигналу бортовий контролер видає звуковий сигнал при кожній зміні зображення на буквено-цифровому індикаторі для залучення уваги водія рухомої одиниці. Звуковий сигнал відключається водієм після сприйняття повідомлення, висвітленого на індикаторі.

Антенa рухомої одиниці служить для перетворення переданого

електричного сигналу в електромагнітну хвилю. Прийнятий сигнал, у вигляді електромагнітної хвилі перетвориться в електричний.

1.6 Вимоги до ІКС енергопостачання й контролю енергоспоживання

Інформаційно-керуюча система енергопостачання й контролю енергоспоживання (ІКС ЕКЕ) припускає створення комплексу технічних засобів, у які як підсистеми входять системи збору, передачі, обробки, відображення й зберігання інформації, системи телекерування енергоспоживання, а також модернізацію периферійного обладнання контактної кабельної мережі й тягових підстанцій. У цей час телекерування 56 тяговими підстанціями здійснюється з 4-х районних диспетчерських пунктів (РДП), на яких установлені комплекси телемеханіки ТМ-320, і 4-х РДП із присункутряними телемеханіки релейного типу.

В основі ІКС ЕКЕ лежить ієрархічний принцип, існування якого полягає в тому, що вся система розбивається на окремі підсистеми або рівні (рисунку. 1.6).

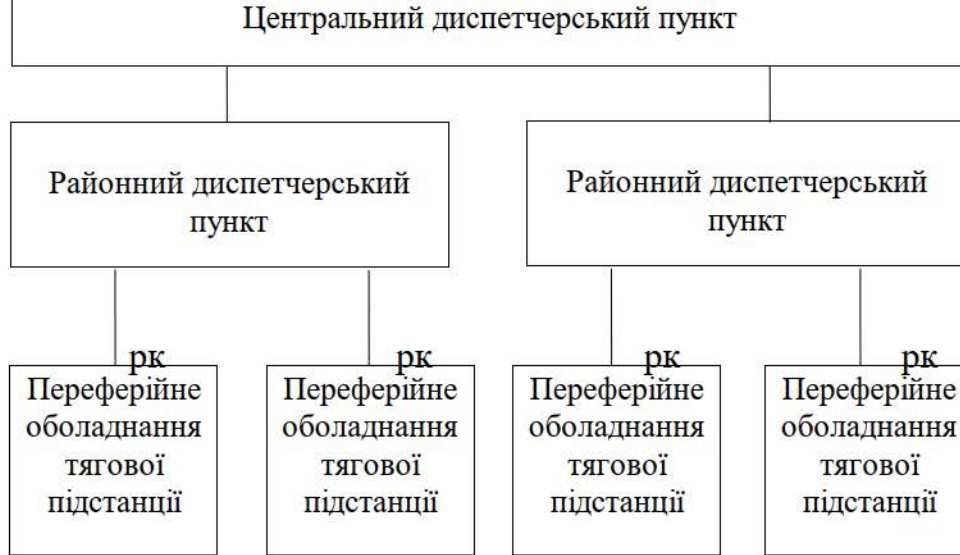


Рисунок 1.6 - Ієрархічна структура інформаційно-керуючої системи енергопостачання й контролю енергоспоживання

На центральному диспетчерському пункті (ЦДП) передбачене виконання наступних функцій:

- збір інформації, що надходить із нижніх рівнів про роботу системи в цілому, її обробку й зберігання;
- координацію роботи окремих підсистем оперативного керування;
- керування аварійним режимом для присункукорення відновлення живлення контактної мережі;
- централізований облік:
- споживання електроенергії на тягу й власні потреби по багатотарифної сітці;
- кількості включень і відключень технологічного обладнання;
- облік часу простоїв і перерв в електропостачанні;
- контроль за виробничою дисципліною й виконанням розпоряджень;
- оперативне планування оглядів і ремонтів технологічного обладнання.

Другий рівень ІКС ЕКЕ утримуючий РДП обладнаний автоматизованим робочим місцем оператора, лініями зв'язку з верхнім і нижнім рівнями. На цьому рівні здійснюється диспетчерське керування тяговими підстанціями й лінійними об'єктами, а також виконуються наступні функції:

- виявлення й сигналізація про несправності периферійного обладнання;
- одержання детальної інформації про режими роботи цього обладнання;
- відтворення на власних засобах відображення отриманої інформації;
- первинна обробка інформації, її селектировання й передача на більше високий рівень;
- виконання отриманих службових команд із верхнього рівня;
- ретрансляція поточних значень телевимірювання на більше високий рівень.

1.7 Вимоги до структурної схеми районного диспетчерського пункту (РДП)

Районний диспетчерський пункт (РДП), що є другим рівнем ієрархічної структури ІКС ЕКЕ, містить АРМ диспетчера РДП, сервер і модем (рисунку 1.7). АРМ диспетчера містить у собі: контролер РДП, що має убудований модем; присункуткою відображення (дисплей, принтер), клавіатуру; переговорний присункутрій (мікрофон, гучномовець, присункутрій введення-виведення мовного сигналу).

Контролер РДП складається з мікроконтролера, елементів пам'яті, паралельних і послідовних портів вводу-висновку, тактового генератора. Він служить для опитування контролерів тягових підстанцій й одержання від них інформації у фіксовані моменти часу.

Убудований модем забезпечує приймання цієї інформації в контролер РДП і передачу керуючих впливів у канал зв'язку для наступного їхнього приймання контролером тягової підстанції.

Присункутрій введення-виведення мовних сигналів складається з елементів гальванічної розв'язки, АЦП (для перетворення аналогового сигналу від мікрофона переговорного присункуткою в цифровий еквівалент), ЦАП (для перетворення цифрових сигналів мовних повідомлень диспетчера ЦДП, в аналоговий сигнал для наступного відтворення звуку гучномовцем переговорного присункуткою).

Сервер призначений для зберігання й обробки інформації вступник з контролера РДП, а також для доступу до неї по запиті із центрального диспетчерського пункту.

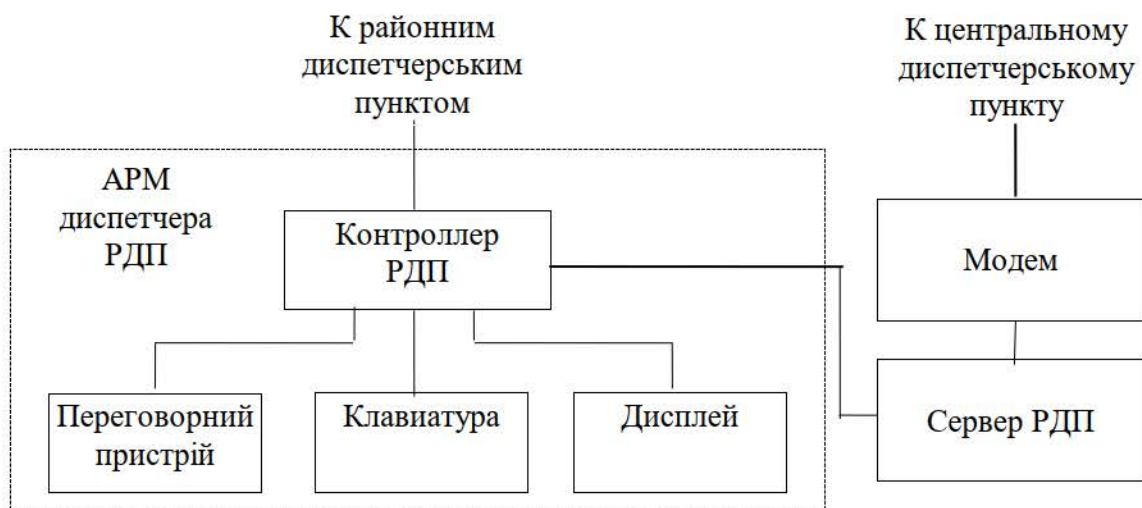


Рисунок 1.7 - Комплекс технічних засобів РДП

Двухканальний зовнішній модем забезпечує передачу інформації на верхній рівень і приймання команд керування, у тому числі мовних, із центрального диспетчерського пункту.

Як лінії зв'язку між районними диспетчерськими пунктами й центральним диспетчерським пунктом, а також районним диспетчерським пунктом і тяговими підстанціями викориснуються лінії безпосереднього зв'язку (БЗ) міської телефонної мережі.

Передача мовної інформації між районними диспетчерськими пунктами й центральним диспетчерським пунктом здійснюється по тимі ж каналам зв'язку, що й передача службової інформації.

До одного районного диспетчерського пункту є можливість підключити до семи тягових підстанцій. Структура з'єднань каналів зв'язку тягових підстанцій і РДП являє собою шинну топологію представлену на (рисунку. 1.8).

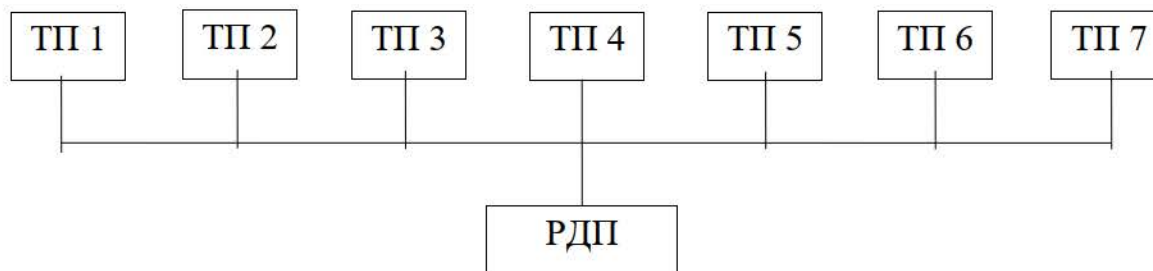


Рисунок 1.8 - Схема підключення тягових підстанцій до РДП

Функціонування РДП здійснюється по наступному принципі: контролер одного РДП опитує контролери тягових підстанцій із заданим тимчасовим інтервалом або по команді надійшла від Арма. Період опитування встановлюється черговим персоналом (за замовчуванням 3 й 30-хвилинні інтервали). Одержує від них дані, зняті з лічильників активної й реактивної енергії, аналізує ці дані й передає їх на сервер РДП. Сервер РДП зберігає прийняту інформацію й веде протоколи зв'язку.

По запиті зі ЦДП сервер РДП надає йому інформацію, що відповідає параметрам запиту (по обраних параметрах) або всю інформацію за звітний період часу.

1.8 Висновки до розділу

В цьому розділі розглядається розробка структури та вимоги до підсистеми ІКС ЗС.

Визначени вимоги:

- до архітектури;
- до функціонального складу;
- до ІКС диспетчерського керування рухом;
- до організації передачі даних по радіоканалі;
- до структури БК рухомого складу;
- до ІКС енергопостачання й контролю енергоспоживання;

- до структурної схеми районного диспетчерського пункту (РДП);

Ця підсистема являє собою функціонально закінчений блок і має ієрархічну багаторівневу структуру. Системи які входять в ІКС ЗС мають свій замкнутий цикл обороту інформації.

2. СТРУКТУРА АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ НЕЧІТКОГО ЗАДАННЯ ГРАФІКА ШВИДКОСТІ РУХУ РУХОМОГО ОБ'ЄКТА З ЇЇ КОРЕКЦІЄЮ ЗА ФАКТИЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРОЇЗДУ

Існуюча автоматизована система керування локомотивом нижнього рівня показана на рисунку.2.1

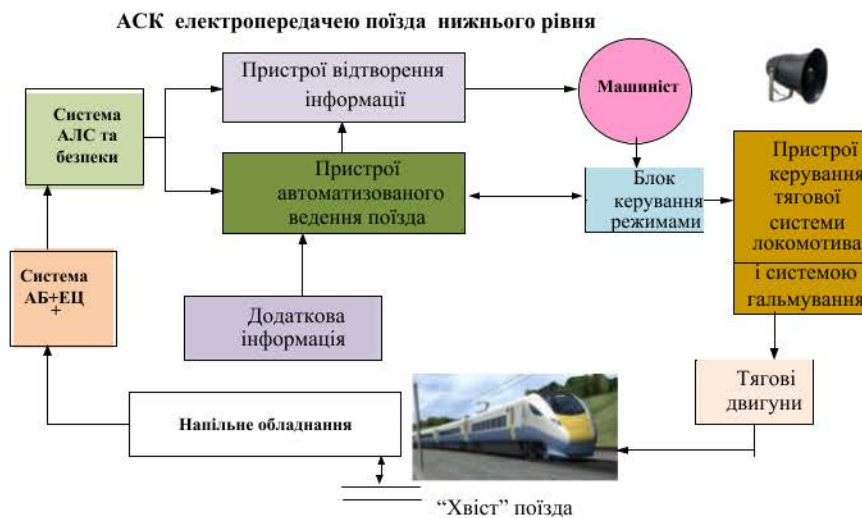


Рисунок.2.1. Існуюча автоматизована система керування локомотивом

Високошвидкісні залізничні сполучення з експлуатаційною швидкістю руху поїздів 350 км/год і більше стають звичайним явищем в цивілізованих країнах і набувають все більшої популярності не в останню чергу завдяки високому рівню безпеки. Високошвидкісні магістралі, за якими за 40 з невеликим років перевезено понад 6 млрд. пасажирів [1-4], до теперішнього часу залишаються абсолютно безпечними. При поїзді по ВСМ не загинув жоден пасажир.

Визначення мети і завдання дослідження.

Метою роботи є підвищення ефективності високошвидкісних пасажирських перевезень шляхом удосконалення процесу організації адаптивних систем автоматичного керування рухом поїздів.

Постановка завдання синтезу адаптивної системи автоматичного керування рухом високошвидкісних поїздів. Для досягнення мети необхідним є вирішення таких завдань: створення моделі підсистеми автоматичного завдання графіків зміни необхідної заданої швидкості руху в уставку регулятора швидкості в функції залежної поточної змінної шляху $S(t)$ проходження ділянки, а також адаптивна корекція відхилів поточної швидкості від заданої. Одною з основних вимог до систем автоматичного керування рухом є забезпечення виведення поїзда на задану швидкість при мінімальних витратах енергоресурсів за мінімальний час при дотриманні обмежень, передбачених графіком руху, конструктивними та експлуатаційними вимогами, що пред'являються до систем автоматичного керування за критерієм гарантованого ступеню стійкості в умовах завад та перешкод змінної інтенсивності.

Вимоги до моделі системи автоматичного керування поїздом з нечітким завданням швидкості руху і її корекцією на ділянках проїзду. Для реалізації заданого графіка руху гарантованої точності [12-15, 16] на ділянці проїзду необхідна автоматична корекція відхилень поточної швидкості від заданої графіком руху за допомогою цифрових адаптивних ПІ- або нечітких регуляторів.

Таким чином, актуальним є: створення моделі адаптивної системи автоматичного завдання графіків зміни необхідної заданої швидкості руху в уставку регулятора швидкості в функції залежної поточної змінної шляху $S(t)$ проходження ділянки, а також адаптивна корекція відхилів поточної швидкості від заданої. Однією з головних функцій таких підсистем повинна бути процедура формування керуючих впливів. Автоматизація такої процедури підвищить ефективність автоматичного керування рухомим об'єктом (РО) і в значній мірі усуне суб'єктивний людський фактор.

Основна частина дослідження. На основну систему керування покладаються функції керування графіком руху поїзда. Значення швидкості на i -й ділянці шляху може бути задано автоматично по карті графіка руху поїзда по ділянці проїзду за сигналами системи АЛС, а значення гранично-допустимого

присункукорення - в межах від $\pm 0,4/c^2$ до ± 0.7 м/с². Маючи карту (графік) руху, можна синтезувати керування для окремих ділянок руху.

Аналіз режимів руху. Режими руху проїзду поїзда по координатам швидкість-час можна розділити на кілька фаз (рисунку. 2.2): розгін, усталений рух, вибіг, гальмування і зупинка.

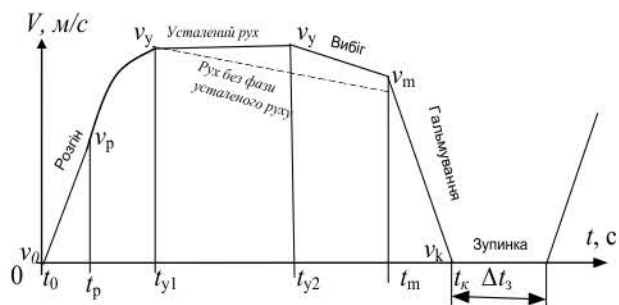
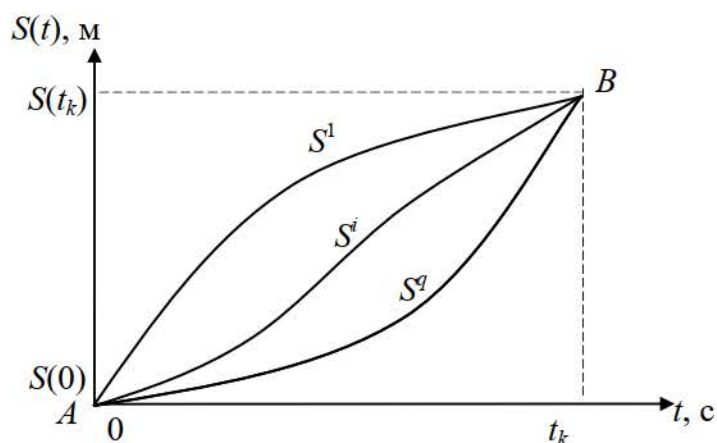


Рисунок. 2.2. Крива зміни швидкості руху по ділянці проїзду

Як видно з рисунка 2.3 переведення об'єкта з початкового стану $S(0)$ в кінцеве $S(t_k)$ за час t_k може здійснюватися за однією з можливих кривих ($S^1, \dots, S^i, \dots, S^q$) (траєкторій). Графік проходження участку ділянки руху поїздом надано на рисунку.4.



Рисункок. 2.3. Графік проходження ділянки руху поїздом

При цьому деякі показники якості можуть відрізнятися від оптимальних значень. Наприклад, відхилення від необхідного значення гранично-допустимого присункукорення.

Для конкретної ділянки колії відомими є: величини радіусів прохідних кривих r ; підйомів/ухилів j (профіль колії); початкові і кінцеві умови по колії і швидкості руху (S_0, S_k, V_0, V_k); гранично допустимі значення присункукорення і сили тяги; час руху. Тут обмеження початкових і кінцевих значень ділянки колії і швидкості повинні виконуватися строго, тобто повинне вирішуватися завдання знаходження оптимальної траєкторії. Дані про гранично-допустимі значення присункукорення на ділянці колії повинні використовуватися для знаходження оптимальної траєкторії.

Оскільки значення гранично-допустимого присункукорення знаходиться в межах $\pm 0.7 \text{ м/с}^2$, то маючи карту (графік) руху необхідно синтезувати керування для окремих ділянок руху S_0, S_k . Тоді для ділянок розгону гранично-допустиме значення присункукорення знаходиться в межах від 0.4 до 0.7 м/с^2 , для ділянок уповільнення - від -0.4 до -0.7 м/с^2 і для ділянок з постійною швидкістю - дорівнює нулю.

Вирішення завдання розробки системи автоматичного керування (АСК) рухом поїзда з урахуванням забезпечення заданого критерію якості (гарантованого ступеня стійкості [12-14, 16]) доцільно здійснювати у вигляді як основної системи автоматичного керування графіком руху, що відноситься до верхнього ієрархічного рівня (АСК УЗ, ділянок, дорог, станцій), так і бортової (підпорядкованої) АСК швидкістю, нижчого локального ієрархічного рівня - АСК електропередачею локомотива)

Перспективні системи автоматичного керування поїздом здатні видавати нескінченне число градацій швидкості, проте як і раніше в цьому ланцюжку, як передавальна і вкрай ненадійна ланка знаходиться людина. Перспективна схема системи автоматичної зміни графіка руху і автоматичного керування поїздом в СУРВТ надана на рисунку.2.4, на якому укрупнено показані АРМи,

обладнання, завдання та основні функції контролю і керування відповідних рівнів керування.

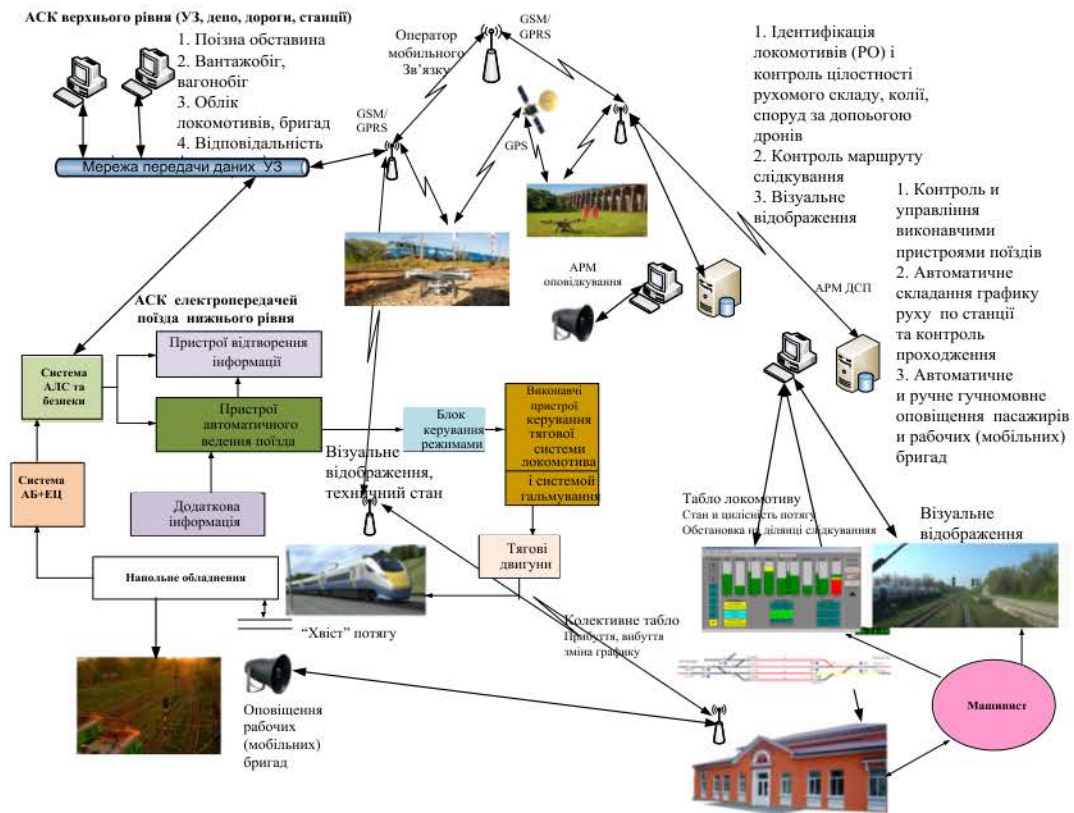


Рисунок 2.4. Перспективна схема системи автоматичного керування високошвидкісним поїздом в СУРВТ

Вияняток машиніста з ланцюга бортової системи керування високошвидкісним локомотивом шляхом створення автомашиніста (надання його функцій диспетчеру руху), забезпечить безпосередню взаємодію трьох систем: СЦБ, автомашиніст, локомотив. Це особливо актуально [21] в зв'язку з необхідністю підтримки раціональної швидкості руху РО при її зростанні в СУРВТ і з відсутністю ряду найважливіших засобів автоматичного контролю (наприклад, завад та перешкод змінної інтенсивності, величини радіусів прохідних кривих r ; підйомів/ухилів j , достовірної і оперативної інформації про дислокацію і ін.), Це потребує формування керуючих впливів в умовах

невизначеності, нечіткості. *Перспективні СУРВТ повинні виконувати автоматизоване ведення графіків руху і на відміну від існуючих систем, які тільки задають обмеження швидкості на основі даних підсистем автоблокування, автоматично формувати раціональну швидкість поїзда. Для ефективного автоматичного керування швидкістю перспективні адаптивні СУРВТ повинні мати розвинену базу даних, частина якої дубльована в бортових комп'ютерах локомотивів. Така база даних повинна включати:*

- цифрову карту мережі залізниць;
- цифровий опис планів станцій;
- цифрові дані про стан (чітка і нечітка інформація) рейкового шляху; супутникову дислокацію рухомих одиниць (приблизну);
- дислокацію, яка визначається за електронними пікетами (точна);
- швидкість, яка рекомендується диспетчерськими підсистемами на основі розподілу РО в результаті слідкування за перевезеннями;
- рекомендовані графіки руху поїздів;
- величини радіусів прохідних кривих r ; підйомів/ухилів j (профіль колії),
- масу (вагу) m поїздів, яка визначається масоізмєрїтелями рухомих об'єктів.

Наявність зазначеної бази даних, дозволяє прогнозувати такі переваги перспективних систем СУРВТ:

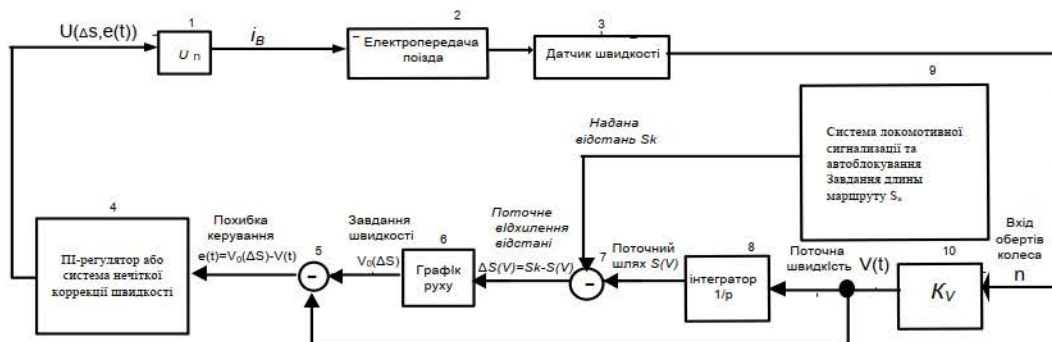
- на основі моделювання, адаптації і оптимізації систем корекції швидкості руху поїздів за критерієм гарантованого ступеню стійкості *збільшити дільничну швидкість поїздів, підвищити стабільність підтримки графіків руху, скоротити парк вагонів і локомотивів, та зменшити енерговитрати в перехідних процесах* [9,12-14,16];
- *зменшити кількість непередбачених їх зупинок, нераціональних затримок поїздів всіх категорій на ділянках залізниць* [16,17-22];
- при збільшенні дільничної швидкості поїздів, відповідно до запланованого графіка, Укрзалізниця розраховує реалізувати 18 нових пар поїздів, вісім пар поїздів зі зміненим маршрутом курсування, сім пар зі зміненим маршрутом, а

рух 49 поїздів – *присункукорити*. Згідно із планом зміни у русі на 2022 рік мають зекономити пасажиром понад 4,5 млн годин часу [23].

Таким чином, автоматичне завдання та регулювання раціональної швидкості поїзда в функції поточного становища на ділянці проходження є основою автоматичного (без участі машиніста) ведення графіка руху і вдосконалення експлуатації засобів рейкового транспорту [14, 16, 23].

Однак до теперішнього часу такі автоматичні системи формування нелінійних кривих графіка руху поїзда гарантованої точності не створені. В останні десять років інтенсивно розвиваються методи синтезу автоматичних систем задання вхідних нелінійних сигналів в контури автоматичного керування швидкістю РО, що реалізують графік руху в реальному масштабі часу, на основі нечіткої логіки, нечітких мереж і нейронечітких мереж [7, 8].

Структура запропонованої адаптивної моделі системи нечіткого завдання швидкості $V_0(s)$ з адаптивною корекцією помилки регулювання швидкості $e(t,s)=V_0(\Delta s)-V(t)$ за фактичними параметрами проходження приведена на рисунку 2.5.



Рисункок. 2.5. Спрощена структурна схема запропонованої моделі адаптивної системи керування електропередачею поїзда по нечіткому заданню швидкості за поточним графіком руху з адаптивною корекцією помилки регулювання швидкості

До запропонованої моделі системи додатково до звісної моделі залучені блоки 4, 6, 11, 12 з відповідними зв'язками. Блок 6 завдання графіку руху має додаткові входи для введення сигналу відхилення $\Delta S(V)$ поточної координати шляху проїзду $S(V)$ від заданої відстані S_k , маси та параметрів траєкторії руху (ухили, підйоми, радіуси траєкторій руху) від блоку ідентифікації 12. Сигнал $V_0(\Delta s)$ нечіткого завдання швидкості руху формується блоком 6 по сигналу $\Delta S(V)$ відхилення $\Delta S(V)$. Сигнал помилки регулювання швидкості формується блоком 5 по формуле $e(t,s)=V_0(\Delta s)-V(t)$. Блок адаптації 11 обчислює оптимальні за критерієм гарантованої ступеня стійкості (КГСС) параметри налаштування цифрового адаптивного ПІ-регулятора 4 корекції швидкості руху поїзда та адаптивного фільтра відповідно до результатів работ [12,13,14,16].

На рисунку 2.6 наведено вихідні варіанти кривих необхідного графіка зміни швидкості поїзда при русі на певній ділянці шляху при максимальному прискоренні/уповільненні. У процесі руху поїзда (дизель-поїзди, електропоїзди) для кривої графіка руху можна виділити задані обмеження швидкості і довжини ділянок обмеження, наприклад, $(0 - B, B - E, E - G)$. Рух з постійною швидкістю при проїзді буде на ділянках $(A - B, C - D, E - F)$, рух з прискоренням - на ділянках $(0 - A$ і $B - C)$, а з уповільненням - на ділянках $(D - E, F - G)$. При цьому в процесі руху повинен дотримуватися графік руху, який передбачає прибуття поїзда в кінцевий пункт в строго призначений час при максимально допустимих значеннях швидкості руху, прискорення і уповільнення, тобто має здійснюватися вимога переведення об'єкта керування з початкового стану S_0 в кінцеве S_{k+1} за необхідний час. Ці обмеження швидкості на певній ділянці шляху визначаються, наприклад, з умови комфортності пасажирів, мінімальності енерговитрат, швидкодії та інших умов.

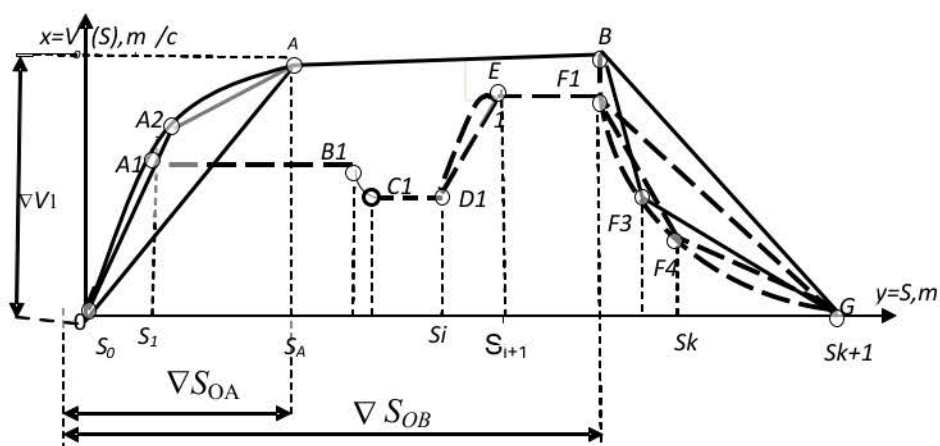
Оскільки відомі початкова кінцеві значення для швидкості руху на кожній ділянці графіка руху і гранично-допустимі значення для прискорення/уповільнення, то для рівняння (1) равноприскореного

руху РО перша (швидкість) і друга (присункукорення) похідні від функції $S(t)$ шляху, описуються залежностями (2) і (3).

$$\frac{d^2 S(t)}{dt^2} + \frac{dS(t)}{dt} + S(t) = 0, \quad (1)$$

$$V(t) = \frac{dS(t)}{dt} \approx \frac{\nabla S(t)}{\nabla t}, \quad (2)$$

$$\alpha_\tau = \frac{d^2 S(t)}{dt^2} = \frac{dV(t)}{dt} \approx \frac{\nabla V(t)}{\nabla t}. \quad (3)$$



Рисункок 2.6. Вихідні варіанти графіка зміни заданої швидкості $V_o(S) = f(S)$ руху для різних режимів проходження

Так як

$$V(t) = \int_{t_i}^{t_{i+1}} \alpha_\tau dt = \alpha_\tau (t_{i+1} - t_i),$$

$$S(t) = \int_{t_i}^{t_{i+1}} V(t) dt = \int_{t_i}^{t_{i+1}} \alpha_\tau t dt = \frac{\alpha_\tau (t_{i+1} - t_i)^2}{2} = \frac{\alpha_\tau \nabla t^2}{2},$$

$$\nabla t = \frac{\nabla V(t)}{\alpha_\tau},$$

то координати кривих на відповідних ділянках розгону або гальмування на графіку визначаються параболою OA , BG , $B1C1$, $D1E1$, $F1G$ за формулами (4), (5).

$$\nabla S_i = \frac{\nabla V^2}{2\alpha_\tau} = \frac{(V_{i+1} - V_i)^2}{2\alpha_\tau}, \quad (4)$$

$$\nabla V = \pm \sqrt{2\alpha_\tau \nabla S_i}. \quad (5)$$

Завданням системи автоматичного керування є забезпечення проходження по заданій траєкторії руху об'єкта керування з початкового стану S_0 в кінцеве $S_{k+1}(t_k)$ при дотриманні заданих обмежень щодо присункукорення та критерію якості системи керування.

Після заміни в (1) похідних різницями запишемо

$$S_{i+1}(t) = S_i(t) + V_i(t)\nabla t + 0.5 * \alpha_\tau \nabla t^2 \text{ або} \quad (6)$$

$$S_{i+1}(t) = S_i(t) + V_i(t)\nabla t + \frac{\nabla V(t)^2}{2\alpha_\tau} \text{ при } \alpha_\tau \neq 0 \text{ і}$$

$$S_{i+1}(t) = S_i(t) + V_i(t)\nabla t \text{ при } \alpha_\tau = 0$$

Припустимо, що для кривої $OABG$ середня швидкість на ділянці ∇S_{A-B} равна $V_{A-B} = 72$ км/час (20 м/с), присункукорення на цій ділянці одно $\alpha_\tau = 0$ м/с². Час проходження ділянки довжиною дорівнюватиме

$$t_{A-B} = \frac{\nabla S_{A-B}}{V_{A-B}} = \frac{(S_B - S_A)}{20},$$

Довжина ділянки при рівноприскореному $\alpha=0,7\text{м/с}^2$ двіженні буде

дорівнювати
$$\nabla s_{0-A} = \frac{\nabla V^2}{2\alpha_r} = \frac{(V_A - V_0)^2}{2\alpha_r} = \frac{(72-0)^2}{2*0,7} * \left(\frac{1000}{3600}\right)^2 = 285\text{м},$$

Тоді довжина ділянки *O-B*

$$\nabla s_{O-B} = \nabla s_{O-A} + \nabla s_{A-B},$$

Використовуючи наведені формули можна визначити довжини всіх ділянок, час їх проходження, загальний час і середню швидкість руху на участі *O - G*

На основі методу [13, 14] реалізації нелінійних кривих на окремих ділянках, завдання швидкості (див. рисунку. 6) руху РО гарантованої точності, комп'ютерні моделі системи нечіткого завдання швидкості $V_0(s)$ і корекції помилки регулювання швидкості $e(t, s) = V_0(\Delta s) - V(t)$ за фактичними параметрами проходження будуть розглянуті в наступних розділах.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших досліджень у даному напрямку

1. В розділі 1 сформульовані основні вимоги до моделі адаптивної системи автоматичного керування поїздом з нечітким завданням швидкості руху і її автоматичною корекцією на ділянках проїзду.

2. Запропоновано удосконалену структуру моделі системи нечіткого завдання швидкості $V_0(s)$ з корекцією помилки регулювання швидкості РО за фактичними параметрами проїзду за допомогою адаптивного ПІ- або нечіткого регулятора (рисунку.6).

3. Побудований вихідний варіант нелінійного графіка зміни заданої швидкості $V_0(S) = f(S)$ руху РО гарантованої точності для різних можливих режимів проходження ділянок проїзду (рисунку.2.6).

3. ФОРМАЛІЗАЦІЯ СИТУАЦІЙНИХ СИСТЕМ НЕЧІТКОГО КЕРУВАННЯ ШВИДКІСТЮ РУХУ

Актуальність застосування сучасних економіко-математичних методів та засобів автоматизації для керування транспортом, визначається неухильним зростанням ролі транспортних послуг та задоволення зростаючих потреб населення. У свою чергу, складність завдань управління транспортними системами визначає необхідність викориснування в управлінні ними засобів сучасної обчислювальної техніки (ВТ), телекомунікацій та математичних методів обґрунтування рішень.

Відповідно до сформованих напрямів автоматизації управління залізничним транспортом, нині певного рівня розвитку досягли автоматизовані системи оперативного управління транспортом. АСУ як першого (організаційного), так і другого (технологічного) типу, спрямованих на досягнення високих техніко-економічних показників функціонування окремих видів транспортних систем. Проте, досягнення вищої техніко-економічної ефективності у роботі окремих елементів транспортних систем який завжди є достатньою умовою досягнення високого рівня транспортного обслуговування міста загалом. У зв'язку з цим виникає необхідність включення до переліку розв'язуваних АСУ низки нових завдань або зміни методик, критеріїв і моделей рішень щодо традиційних завдань як наслідок того, що система управління створюється насамперед на корисункуть територіальних органів управління. Такі завдання носять міжгалузевий характер і мають становити основу територіальних АСУ, здійснюють інформаційне обслуговування та забезпечення необхідними розрахунками територіальних органів управління транспортом.

3.1. Теоретичні основи моделювання складних транспортних систем

3.1.1. Основні поняття та визначення

В технічній літературі для представлення тих чи інших знань, моделей, завдань [6]. До них належать передусім такі: безліч, розміщення, кортеж, відповідність, проекція, функція, ставлення, збори, колекція, клас, система, сімейство, комплекс, ансамбль тощо. Дамо визначення деяким поняттям, якими корисункутуватимемося надалі.

Множина - це сукупність, складена з будь-яких предметів. Предмети, що становлять цю множину, називаються його елементами. Щодо ТС ми можемо говорити про безліч РО, безліч трамваїв в даному депо або на даному маршруті, безліч пасажирів на зупинці або в РО, безліч стрілочних перекладів, безліч зупинок і т.д.

Кортеж - це кінцева впорядкована множина. Припустимо, що диспетчер повинен дати звіт про стан (у певний момент часу) рухомих одиниць на маршруті. І тому він має повідомити становище кожної РО у час. Безліч цих положень визначить стан ет велика кількість методів, які викориснукутовуються в сучасній науково C_k k -го маршрута. Отже, стан маршруту в цілому визначається або визначається різними станами (положеннями) різних РО взятих одночасно. Такий стан є вектором, тобто. складовий об'єкт, що має певну кількість КОМПОНЕНТІВ, або СКЛАДНИХ. Кортеж (вектор) записується в кутових дужках: $\langle C_1, C_2, \dots, C_n \rangle$.

Це означає, що перша складова має значення C_1 , друга – значення C_2 и т.д. Кортеж з елементами, що не збігаються, - розміщення. Положення компонент кортежу може бути описано не одним, а кількома числами (наприклад, широта та довгота задають положення рухомого об'єкту (РО) у будь-який момент часу).

Компонентами кортежів можуть бути будь-які об'єкти, у тому числі - множини, розподіли та кортежі, наприклад, $\langle C, C, C, C, C \rangle$ є кортеж довжини 5, кожна з п'яти компонент якого є буква C. Таким чином, на відміну від елементів множини, компоненти кортежу можуть повністю або частково збігатися. Кортежі найчастіше позначають малими грецькими і великими латинськими літерами, елементи кортежів - малими латинськими літерами.

Кортеж C називається розміщенням, якщо всі його компоненти різні

Нехай m - кінцева множина (розміщень PO, самих PO, ребер, вузлів) на k -му маршруті. Кортеж C називається перестановкою над безліччю m , якщо він є розміщенням та його довжина дорівнює числу елементів множини m . Таким чином, перестановка над n -елементом множини m - це кортеж довжини n над множиною m .

Для будь-яких цілих невід'ємних чисел k і i позначимо: через A_k^i число розміщень довжини i над довільною k -елементною множиною

$$A_k^i = \prod_{j=0}^{i-1} (k-j),$$

$$\text{або остаточно } A_k^i = \begin{cases} 1 & i = 0, \\ \prod_{j=0}^{i-1} (k-j) & 1 \leq i \leq k, \\ 0 & i > k; \end{cases}$$

через C_k^i число i -елементних підмножин довільної k -елементної множини

$$C_k^i = \begin{cases} 0 & i > k, \\ \frac{k!}{i!(k-i)!} & i \leq k; \end{cases}$$

через P_k число перестановок над довільною k -елементною множиною

$$P_k = k!.$$

$$\text{Отже } A_k^i = C_k^i \cdot P_k.$$

Комбінаційні завдання. У цих завданнях зазвичай потрібно визначити число елементів деякої кінцевої множини A . Головним методом вирішення

такий є метод встановлення взаємнооднозначної відповідності між даною множиною A і деякою допоміжною множиною B , число елементів якого відомо. Якщо кожному елементу множини A поставлений у відповідність один елемент множини B так, що при цьому

а) різним елементам множини A поставлені у відповідності різні елементи множини B і

б) кожен елемент множини B поставлений у відповідність хоча б одному елементу A ,

то, отже, між A та B є взаємно однозначна відповідність. Цей метод рекомендований як головний спосіб вирішення комбінаційних завдань.

Розглянемо приклад опису для мережного транспортного завдання з викориснуванням введених понять

Є r різних маршрутів та r (не обов'язково різних) цілих невід'ємних чисел k_r . Є $\sum_{i=1}^r k_i$ різних РО. На перший маршрут можна поместить n_1 РО, на вторій - n_2 РО, на r -й - n_r РО. Таким чином, кожен из кортежей имеет длину k_i ,

загальна длина кортежей равна $\sum_{i=1}^r k_i$, а загальне число $k = \frac{\left(\sum_{i=1}^r k_i\right)!}{\prod_{i=1}^r (k_i)!}$.

Так як кожен кортеж характеризує стан маршруту в поточний момент часу (тобто місце розташування кожної РО кортежу в кожний момент часу), то множині і поточних моментів часу буде відповідати безліч розміщень кортежів. Для опису цієї множини розміщень введемо поняття ПРОЕКЦІЇ k -го кортежу C_k^i на i -ю ось времени.

Визначення. Нехай $0 < i < m$. Проекцією кортежу C_k на i -і осі часу називаються $n p_i C_k = C_k^i$ обозначаються i -е компоненти кортежа C_k на осі времени с номерами i_1, i_2, \dots, i_m . Таким чином

$$n p_{i_1, i_2, \dots, i_m} C_k = \langle C_k^{i_1}, C_k^{i_2}, \dots, C_k^{i_m} \rangle.$$

Транспорт є складною розподіленою логіко-динамічною транспортною системою (ТЗ), ефективність управління якої залежить від її моделі. Існує кілька підходів при створенні моделі ТЗ, основними з яких є: матричний, мережевий, топологічний, функціональний, імовірнісний.

Транспортні моделі застосовуються для оптимізації перевезення вантажів та пасажирів, у завданнях оптимізації та складання розкладів, в інформаційно-керуючих системах та ін.

3.1.2. Матричні моделі

Є ряд пунктів споживання та джерел певної продукції. Ресурс i -го джерела (запас або план відвантаження з поточного джерела) позначений через A_i , а споживача цього запасу пунктах j - B_j . Відстань або вартість перевезення одиниці продукції з i в j - C_{ij} . Потрібно знайти такі розміри постачання від кожного джерела до кожного споживача, X_{ij} , за яких загальна сума витрат або пробіг будуть мінімальними. Записуються ці умови для кожного з m джерел та n споживачів наступним чином $\sum_{j=1}^n X_{ij} = B_j$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} \leq A_i$$

Транспортне завдання у цій постановці вирішується на матриці, у рядках якої показуються постачальники, у стовпцях – одержувачі, клітинах – кореспонденції між відповідними джерелами та споживачами.

3.1.3. Мережеві моделі

Завдання ситуаційного управління перевізним процесом може бути вирішено і на мережній моделі, безпосередньо на мережі шляхів сполучення. Ця мережа складається з ланок (ребер, дуг) та вузлів (вершин).

Як вершини виділяються пункти навантаження, вивантаження, стрілочні переклади, зупинки, тобто всі реальні вузлові пункти мережі. Кожну ділянку мережі між двома сусідніми вершинами розглядають як дві дуги протилежного спрямування з рухом в один бік по кожній дузі. Кожна дуга характеризується показником відстані (вартості чи часу) перевезення одиниці вантажу чи рухом ПЕ. При розв'язанні задачі за вартісним критерієм довжини прямої та зворотної дуг можуть бути різними.

Змінними мережевою транспортною моделлю можуть бути як потоки вантажу по кожній транспортній дузі, так і потоки (розподілу) РО окремих маршрутів по маршрутній мережі. При великій кількості кінцевих і проміжних пунктів число змінних при мережевому поданні значно менше, ніж при матричному, що полегшує завдання моделювання та прийняття рішень з управління.

За наявності на мережі 600 ділянок та 50 200 вершин, кількість змінних мережного завдання становить 1200, а матричної – 10000.

3.1.4. Мережі Петрі

Мережі Петрі є математичним інструментом створення моделей різних систем і викорисункуються в основному для моделювання і проектування нових систем, а також аналізу поведінки вже існуючих.

Реальні системи функціонують у часі та просторі. Мережі Петрі дозволяють описувати як потоки даних, так і загальну поведінку ІУС, у яких відбуваються будь-які події під час виконання певних умов. З погляду теорії графів мережа

Петрі є орієнтований граф із двома типами вершин, які з'єднані між собою орієнтованими дугами (ребрами). Один тип вершин прийнято називати місцем та його умовно позначають кружком; інший тип вершин прийнято називати переходом. Перехід графічно є бар'єром. Місце та перехід можуть мати кілька вхідних $I(K_i)=r_i$ і вихідних $O(K_i)=r_i$ дуг. Таким чином, у мережі Петрі місцем моделюється умова, при цьому наявність фішки у відповідному місці вказує на виконання умови (або наявність його). Перехід моделює у мережі Петрі події, тобто. дії, які у системі. Виникнення дії відповідає спрацьовування (або запуску) переходу. Безліч умов визначає стан системи. Умову можна представити у вигляді предикату або логічної функції, що приймає два значення: або значення "істина", або "брехня".

Наприклад, розглянемо як моделювану систему деяку програму для ЕОМ. У реальних програмах події (дії) мають різну інтерпретацію: виконання операторів, повторення операторів, завершення операторів тощо. Подія може статися, відбутися, повторитися. В цьому випадку семантика місць може бути такою:

- Перехід моделює оператори,
- Місця зберігають інформацію про умови події. При цьому умова спрацьовування (запуску) переходу можна пов'язати з умовою готовності оператора до виконання.

Встановлення фішок у відповідні місця називають розміткою мережі. Говорячи, що мережа Петрі функціонує, переходячи від розмітки до розмітки, наприклад, від деякої початкової, до деякої проміжної, або до заключної (тупикової), якщо вона доступна.

Тупиковою називають розмітку, за якої не може спрацювати жоден перехід. Перехід може тільки тоді, коли у всіх його вхідних місцях є хоча б по одній фішці. Перехід, спрацьовуючи, видаляє рівно по одній фішці з кожного свого вхідного місця і утворює по одній новій фішці в кожному своєму вихідному місці (тобто.місці, у яке веде дуга від цього переходу). Якщо мережі

Петрі є один перехід, який може спрацювати, він обов'язково спрацює. Якщо можуть спрацювати два чи більше переходів, вони спрацьовують послідовно, але недетерміновано (випадково), тобто. не можна заздалегідь знати, який саме перехід має спрацювати.

Отже, функціонування мережі Петрі можна як недетерміновану послідовність дискретних подій.

Моделювання мікропроцесорного контролера (МК). Як модель МК можна вибрати мережу Петрі що дозволяє описати як потоки даних, і загальне поведінка МК. При цьому реєстри МК є безліччю вершин R , потоки даних - безліччю орієнтованих ребер, команди - безліччю переходів K .

На малюнку 3.1 наведено приклад мережі Петрі для переходів K_1, K_2, K_3 .

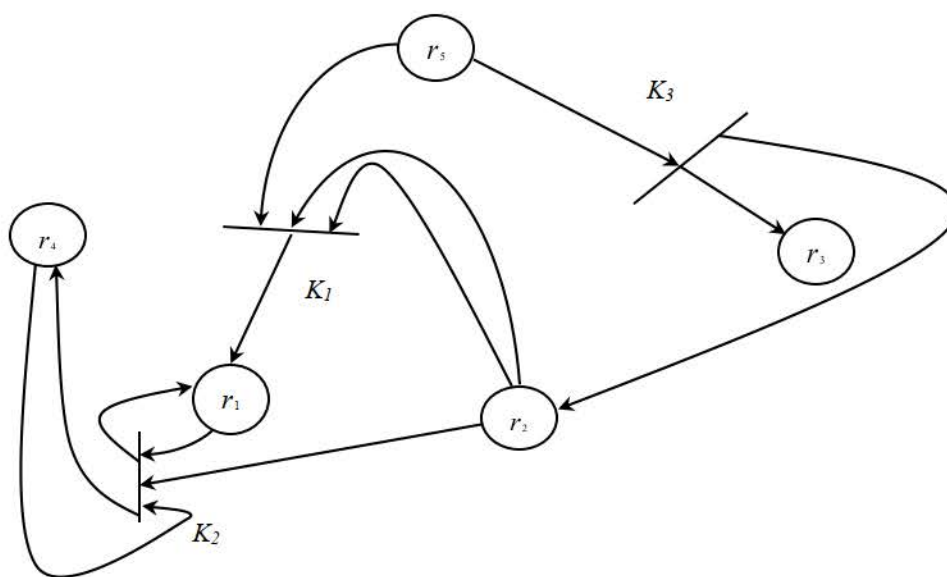


Рисунок 3.1 – Приклад мережі Петрі для переходів K_1, K_2, K_3 .

K_1 – завантаження в r_1 содержимого r_2 и r_5 ;

K_2 – завантаження r_1 и r_2 с учетом переноса (r_1);

K_3 – непосредственная загрузка r_2 и r_3

3.1.5. Застосування теорії масового обслуговування (МО) для опису транспортних завдань

Завдання, що виникають при організації перевізного процесу, зводяться до наступної схеми.

- Існують присункутрої (РО), призначені для перевезення пасажирів.
- Є маршрути мережі ТЗ, якими випадково пересуваються РО.
- Є об'єкти (зупинки, стрілки, переїзди) на які періодично чи випадково надходять ПЕ.

• Якщо об'єкти вільні, то РО надходять на обслуговування, якщо РО вже знаходяться на об'єкті, то в цей момент об'єкти недоступні для обслуговування нових РО .

• У період зайнятості об'єктів, що прибули РО, стають у чергу на обслуговування.

Представлена схема ставить ряд практичних завдань: потрібна кількісна оцінка інтенсивності надходження РО на об'єкти, переробної здатності об'єктів, часу обслуговування присункутроїв, довжини черги присункутроїв, що чекають на обслуговування. У межах теорії МО об'єкти називаються каналами обслуговування, а надходження РО на об'єкти – заявкою. В основі теорії МО лежить теорія ймовірностей, основні положення якої буде викориснуто без додаткових пояснень.

Потік є послідовність подій, що відбуваються одне за одним у довільні моменти часу.

Такі потоки можна зобразити як послідовність подій у точках C_n в точках t_1, t_2, \dots, t_n на числовій осі часу. Якщо події йдуть одне за одним через рівні проміжки часу, такий потік називається регулярним. Такий потік не типовий для ТЗ. Типовим є випадковий потік.

3.2. Теорія розподілів

У дискретних динамічних та логічних системах замість безперервних функцій $f(t)$ задаються послідовностями решітчастих функцій $f_i[nT]$ ($n=0,1,\dots$), існуючих у певних інтервалах дискретної множини значень простору часу $t \in (0, \infty)$.

До такого розподілу сітчатих функцій застосовно дискретне перетворення Лапласа (D – перетворення), które може розглядатися, як результат дії імпульсів $\delta(t-nT)$, що витягається із функції $f(t)$ у момети часу $t=nT$ значення $f[nT]$. Іншими словами, совокупність цих імпульсов, представлена розподілом

$$\sum_{n=0}^{\infty} \delta(t-nT),$$

модулюється за допомогою функції, $f(t)$, у результаті чого виходить співвідношення $f[nT]$, яка являє собою розподіл

$$f[nT] = f^*(t) = f(t) \sum_{n=0}^{\infty} \delta(t-nT) = \sum_{n=0}^{\infty} f(nT) \delta(t-nT).$$

Застосувавши до розподілу $f[nT]$ перетворення Лапласа, отримаємо D - перетворення

$$D\{f[nT]\} = F(e^{pT}) = \sum_{n=0}^{\infty} f[nT] e^{-pnT} = \frac{a_0 q}{q-1}, \quad (3.1)$$

де a_0 - перший доданок ряду (схожий геометричній прогресії), а q - його знаменник.

Таким чином, задачі, що виникають у зв'язку з описом, представленням та дослідженням послідовностей, можуть вирішуватися за допомогою D - перетворення цих послідовностей.

Опис стають простими, якщо замість змінної p ввести нову змінну $Z = e^{pT}$. Тоді розподіл (2.01) переходить у ряд (розподіл) по нижчим ступеням Z , і перетворення набуває вигляду

$$F(Z) = \sum_0^{\infty} f[nT] Z^{-n} = Z\{f[nT]\}.$$

Отже, Z - перетворення переводить послідовність оригіналу в послідовність зображення. Для опису розподілу на безлічі $t=nT$ необхідні такі теореми Z - перетворення.

1. Друга теорема зміщення (здвигу)

$$f[(n+k)T] \Leftrightarrow Z^k \left[F(Z) - \sum_{v=1}^{k-1} f_v Z^{-v} \right]_{\text{при } k=1,2,\dots}$$

2. Теорема лінійності

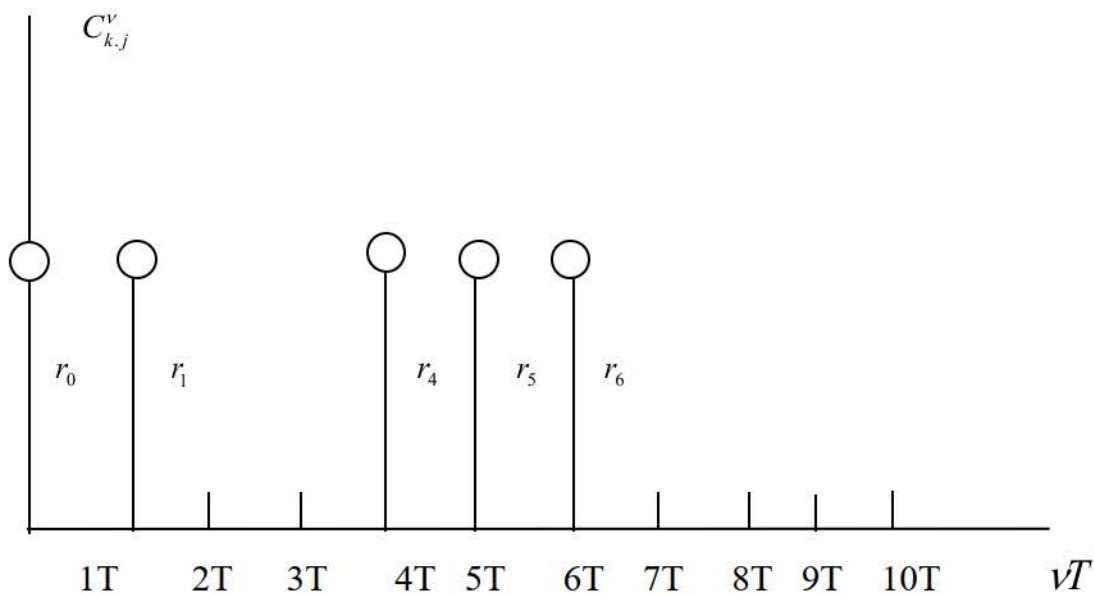
$$Z \left\{ \sum_{v=1}^N C_v f_v[nT] \right\} = \sum_{v=1}^N C_v F_v(Z).$$

3. Теорема о зображенні сітчастої функції с змінним періодом слідовання

$$Z\{f(\lambda nT)\} = \sum_0^{\infty} f(\lambda nT) Z^{-\lambda n} \Leftrightarrow F(Z^\lambda, \lambda T).$$

тобто, в зображенні сітчастої функції Z змінюються на Z^λ , а T на λT .

Представимо положення $C_{k,j}^v$ окремої j -й РО на k -м маршруті у певні відносні v -е моменти часу у виді графіку приведенного на рисункуунку 3.2.



Рисунунок 3.2 - Положення $C_{k,j}^v$ окремої j -ї РО на k -м маршруті у перні відносні v -е моменти часу

На цьому графіку на осі абсцис відкладені відрізки часу $vT (v=1,2,\dots,2M)$, у на осі ординат стан $C_{k,j}^v$ та номер вершини r -го вузла мережевої моделі, в якому знаходиться j -я РО в v -й момент часу. Таким чином графік відображає розподіл станів j РО в r -х вершинах мережевої моделі у v -е моменти часу. Якщо стан мережі через MT інтервалів часу повторюється, то для отримання формули, що описує стан розподілів РО на k -м маршруті скористуємося теоремою про Z -ізображенні періодичних сігчастих функцій виду

$$f[(v+M)T] = f(vT),$$

де $v=0,1,2,\dots,M$.

M - відносний (для кожного маршруту) період повторення.

З урахуванням цієї теореми формула для опису зображення стану розподілу, що періодично повторюється, матиме наступний вигляд

$$C_{k,j}^v(Z) = \frac{Z^M}{Z^M - 1} \sum_{r=0}^M C_r^v Z_r^{-\lambda_r v},$$

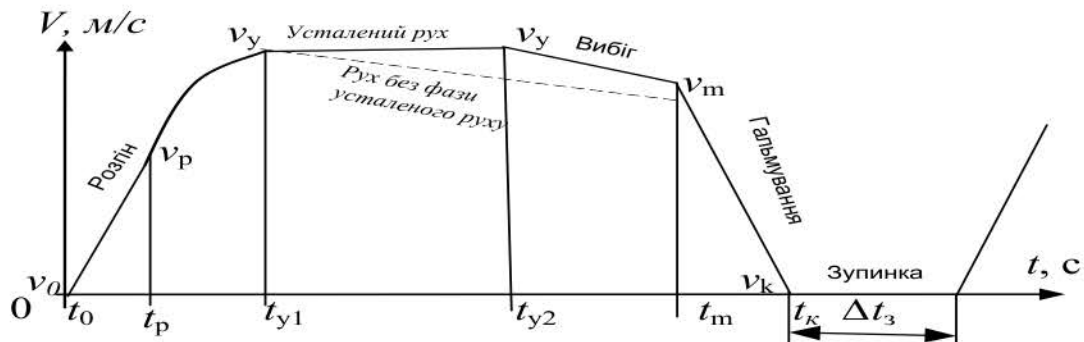
де $C_{k,r}^v$ - логична послідовність сігчатих функцій, що характеризує розміщення k -ї РО на множині (v,r) дорівнює 1, якщо у точці r присутня k -я РО и 0 - якщо відсутня,

λ_r - коефіцієнт, що враховує зміну значень v .

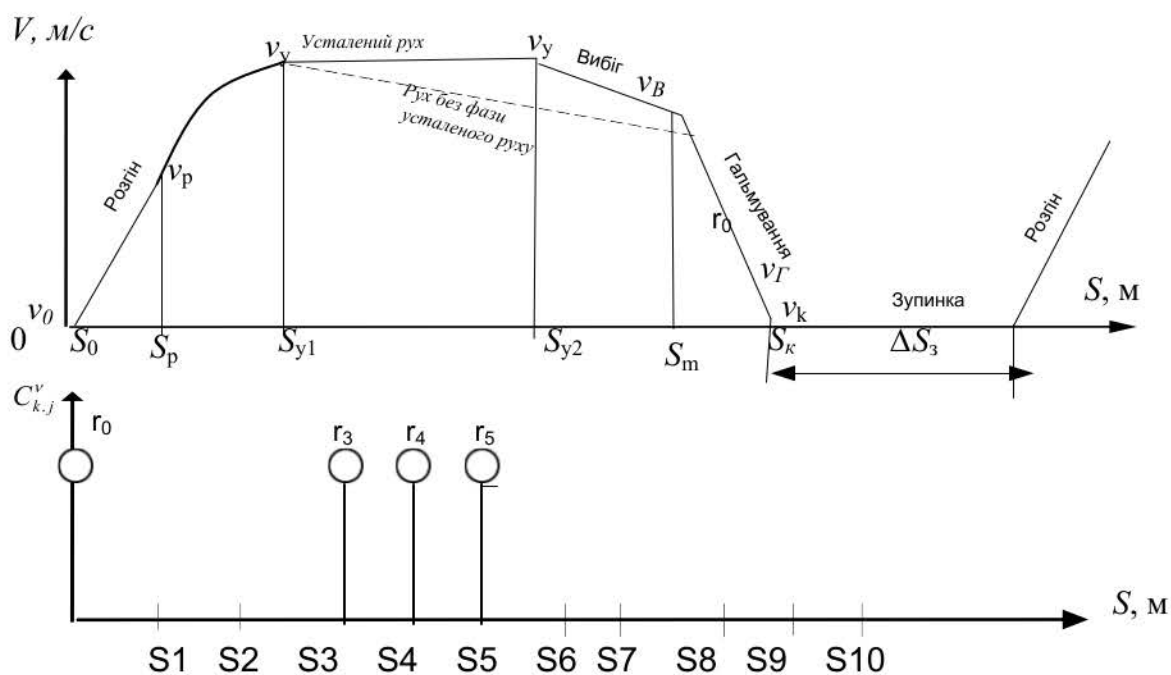
Приклад опису зображення станів наведеного на малюнку розподілу буде виглядати наступним чином

$$C_{k,j}^v(Z) = \frac{Z^{10}}{Z^{10}-1} (1_{r_0} + Z_{r_1}^{-1} + Z_{r_4}^{-4} + Z_{r_5}^{-5} + Z_{r_6}^{-6}) \quad (3.2)$$

Представимо положення $C_{k,j}^v$ окремої j -ї РО на k -м маршруті у певні відносні V -е моменти часу у виді графіків приведених на рисунку 3.3 і на рисунку 3.4.



Рисункуунок – 3.3 Графік зміни швидкості V окремої r_j РО на k -м маршруті $C_{k,j}^v$ у певні відносні моменти часу t_i на відповідній ділянці прямування



Рисункунок - 3.4 Графік зміни швидкості V та положення окремих r_j PO на k -м маршруті $C_{k,j}^v$ у певні вілносні моменти часу t_i на відповідній ділянці прямування S_i

На графіку рисунку. 3.3 на осі абсцис відкладені відрізки часу $vT (v=1,2,\dots,2M)$, на графіку рисунку. 3.4 на осі абсцис відкладені відрізки відповідних ділянок прямування S_i , а на осях ординат швидкості V окремої ПЕ, положення $C_{k,j}^v$ всіх PO на маршруті та номер вершини r -го вузла мережевої моделі, у якій знаходиться j -я PO в v -й момент часу. Таким чином графік відображає розподіл станів j PO в r -х вершинах мережевої моделі у v -е моменти часу.

Для опису моделі розподілу сітчастих кортежей C_k на дискретній множині часу $i = j + v$, скористаємося: Z -перетворенням дискретних функцій, якими являються сітчаті функції станів $C(v)$, поняттями кортежу і проєкції кортежа на i -ю вісь часу дискретного часу (i, r) .

Так як кортеж з j рухомих одиниць на k -м маршруті представлений у виді

ланцюга

$$C_{k,j} = \langle C_{k,1}, C_{k,2}, \dots, C_{k,j} \rangle,$$

то проєкцію цього кортежу на i -ю вісь представимо ланцюгом

$$\text{пр}_i C_{k,j} = C_{k,j}^i = \langle C_{k,1}^i, C_{k,2}^i, \dots, C_{k,j}^i \rangle.$$

Для опису розподілів РО та кортежей РО у зворотному напрямку введемо позначення

$$\overline{C}_k, \overline{C}_{k,j}.$$

Використаємо введенні позначення, поняття і теореми відображення станів кожного з кортежей у прямому і зворотньому напрямків, можливо уявити у вигляді формули

$$\begin{aligned} C_{k,j}^i(Z) &= C_k^{\lambda_r, \nu}(Z_r) C_k^{\eta_k \lambda_j j}(Z) + \overline{C}_k^{\lambda_r, \nu}(Z_r) \overline{C}_k^{\eta_k \lambda_j j}(Z) = \\ &= \frac{Z^{M_k}}{Z^{M_k} - 1} \left\{ \sum_{v=0}^{M_k} C_{k,r}^v Z_r^{-\lambda_r, \nu} \sum_{j=0}^{N_k} Z^{-\eta_k \lambda_j j} + \sum_{M_k}^2 \overline{C}_{k,r}^v Z_r^{-\lambda_r, \nu} \sum_{j=0}^{N_k} Z^{-\eta_k \lambda_j j} \right\}, \end{aligned}$$

де $N_k = 0, 1, 2, \dots$ - поточне число РО на k -м маршруті, розраховане по методам теорії масового обслуговування та в залежності від кількості пасажирів за добу j .

λ_j - коефіцієнт що враховує зміну значень $\eta_k j$.

η_k - число інтервалів ($\eta_k = (0, M-1)$), через котрі розміщені всі РО k -го маршруту.

Таким чином, для отримання необхідного опису динаміки кортежу, представлених послідовностями сітчатих функцій на множині (r, ν, j, k, η_k) необхідний розподіл j -й РО на множині r вершин мережевої моделі у ν моменти часу помножить на кортежі з N_k РО у $\eta_k j$ -е моменти часу. Получені розподіли проєкцій j кортежей на i -е ($i = \eta_k j + \nu$) вісі часу та дадуть шуканий розподіл кортежей.

Так як кортеж з j рухомих одиниць на k -м маршруті представлений у

вигляді ланцюга

$$C_{k,j} = \langle C_{k,1}, C_{k,2}, \dots, C_{k,j} \rangle,$$

то проекцію цього кортежу на i -ю вісь представимо ланцюгом

$$\text{пр}_i C_{k,j} = C_{k,j}^i = \langle C_{k,1}^i, C_{k,2}^i, \dots, C_{k,j}^i \rangle.$$

Для опису розподілів РО і кортежей РО у зворотньому напрямку введемо позначення $\overline{C}_k, \overline{C}_{k,j}$.

3.3 Принципи організації системи ситуаційного управління рухом рухомого складу з урахуванням технічного стану колії та ПЕ

Існує три підходи до організації системи диспетчерського управління рухом - попереднє складання розкладу руху з наступним контролем та регулюванням руху традиційними методами (перший підхід), ситуаційне регулювання заздалегідь складеного графіка руху (другий підхід) та ситуаційне планування руху та прийняття диспетчерського управління в реальному часі (третій підхід) - обраний третій підхід.

Структуруємо модель ситуації шляхом виділення в ній фрагментів за ознакою джерела інформації, що використовується при її формуванні. Ситуація складається з наступних фрагментів:

$$C = \{C^1, C^2, C^3, C^4, C^5\}, \quad (3.3)$$

де $C^1 = \{C_1^1, C_2^1, \dots, C_k^1\}_j$ - фрагмент, який описує місцезнаходження (координати у системі координат маршрутів ПЕ) всіх руомих одиниць;

C_i^1 - координата i -й ПЕ;

$C^2 = \{C_1^2, C_2^2, \dots, C_k^2\}$ - фрагмент, який описує наповнення, наприклад, C_i^2 - наповнення i -й ПЕ;

$C^3 = \{C_1^3, C_2^3, \dots, C_k^3\}$ - фрагмент, який характеризує технічний стан ПЕ;

$C^4 = \{C_1^4, C_2^4, \dots, C_n^4\}$ - фрагмент, який характеризує кількість пасажирів, наприклад, C_i^4 - на i -й зупинці;

$C^5 = \{C_1^5, C_2^5, \dots, C_m^5\}$ - фрагмент, який характеризує технічний та дорожній стан ділянок маршруту, наприклад, C_i^5 - i -го ділянки маршруту.

3.4 Організація обчислень із використанням нечітких функціональних відношень

Розглянемо операцію композиції нечіткої множини A с нечітким відношенням R_l . Нехай множини U відповідає нечітка змінна ВІДСТАНЬ_В до попереднього ПОЇЗДА, а множини V - нечітка змінна ШВИДКІСТЬ_В ПОЇЗДА й приймемо

$U = [\text{мала_В}, \text{середня_В}, \text{велика_В}, \text{максимална_В}]$ [м], а $V = [\text{нульова_В}, \text{мінімальна_В}, \text{середня_В}, \text{максимальна_В}]$ [м/с]

Уведемо нечіткі змінні:

A - мала_В ВІДСТАНЬ і приймемо $A = [(\text{мала_В}/1, 0); (\text{середня_В}/0, 8); (\text{велика_В}/0, 2); (\text{максимална_В}/0)]$;

A' - занадто мала_В відстань і приймемо $A' = [(\text{мала_В}/1); (\text{середня_В}/0, 64); (\text{велика_В}/0, 04); (\text{максимална_В}/0)]$;

V - велика_В швидкість ПОЇЗДА й приймемо $B = [(\text{нульова_В}/0); (\text{мінімальна_В}/0, 1); (\text{середня_В}/0, 8); (\text{максимальна_В}/1)]$.

D - висновок, що відповідає нечіткому висновку Л.Заде, що визначається за наступним правилом:

$$D = A' \circ (A \circ B),$$

де \circ - позначення операції композиції між нечіткими змінними.

Уведемо нечітке відношення (правило) R , що характеризує нечітке висловлення “ Якщо ВІДСТАНЬ мала_В, то ШВИДКІСТЬ ПОЇЗДА велика_В “

$$R = A \circ B = \begin{vmatrix} 0 & 0,1 & 0,8 & 1 \\ 0 & 0,1 & 1 & 0,8 \\ 0 & 1 & 0,2 & 0,2 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad (3.4)$$

Висновок D відповідає нечіткому висновку $\mu_D(V)$ і будується на підставі композиції поточної нечіткої множини A' з відношенням R

$$m_D(V) = A' \circ R = [1, 0; 0.64; 0.04; 0] \circ \begin{vmatrix} 0 & 0,1 & 0,8 & 1 \\ 0 & 0,1 & 1 & 0,8 \\ 0 & 1 & 0,2 & 0,2 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} = |0; 0,1; 0,8; 1,0| \quad (3.5)$$

Тут з кожної пари композуємих чисел вибирається мінімальне число, а із чотирьох підсумкових чисел - максимальна V . У такий спосіб наслідку D відповідає наступна нечітка множина:

$D = [(нульова_V/0); (мінімальна_V/0,1); (середня_V/0,8); (максимальна_V/1,0)]$, дефазифікація якого визначає те, що швидкість ПОІЗДА повинна бути дуже великий і рівної **максимальна V** , м/с.

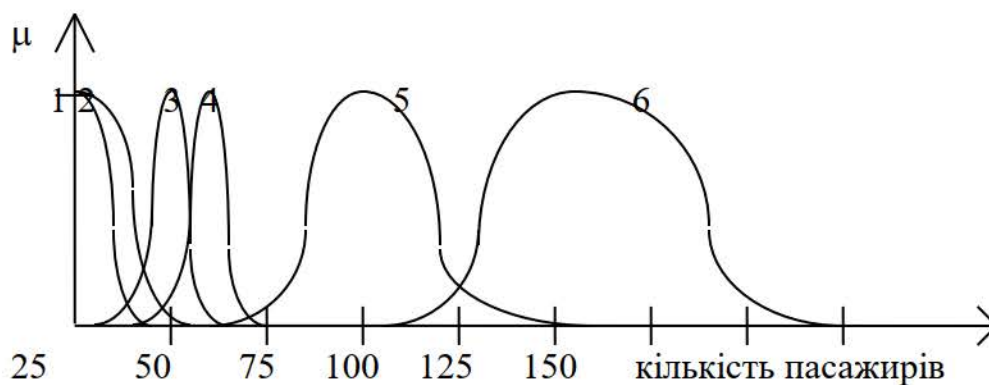
3.5. Декларативні знання для автоматичного формування у реальному часі моделі поточної ситуації

Формалізація ситуації (3.1) виконана на основі нечітких множин, як було показано в п. 3.2. У справжньому параграфі приводиться модель представлення фрагментів ситуації (3.1) та правил (3.4) автоматичного формування моделі поточної ситуації відповідно с (3.5).

3.5.1. Фрагмент ситуації, який описує наповнення рухомої одиниці

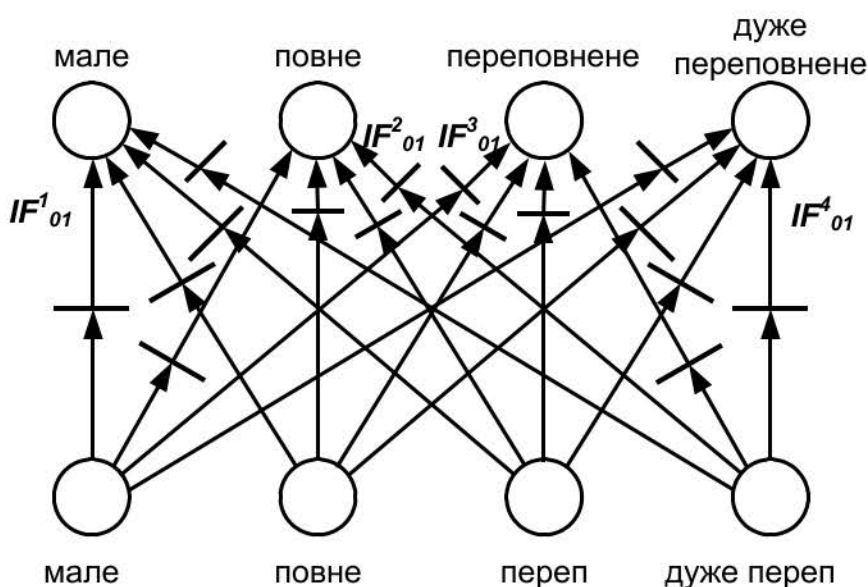
Наповнення рухомої одиниці – важлива інформація, що використовується у диспетчерському локальному управлінні. На її основі

будуються правила керування, що забезпечують критерій комфортності пасажирів. З двох підходів до організації системи контролю наповнення РО - точний підрахунок кількості пасажирів, що ввійшли / вийшли, і грубі методи оцінки кількості пасажирів - для цілей диспетчерського управління більш прийнятний останній. Для обґрунтування структури системи контролю наповнення РО побудуємо лінгвістичну змінну НАПОВНЕННЯ. Терм-множина лінгвістичних значень (множина лінгвістичних значень) $T(\text{НАПОВНЕННЯ}) = (\text{дуже мале, мале, середне, повне, перевантажений, сильно_перевантажений})$. Можливі обмеження на нечітких змінних «дуже мале», «мале» и т.д. приведено на рисунку. 3.5. На рисунку обозначені функції приналежності обмеження нечітких змінних: «дуже мале» - 1, «мале» - 2, «середне» - 3, «повне» - 4, «перевантажений» - 5, «сильно_перевантажений» - 6. Функції приналежності побудовані прямим методом опитування групи експертів, у якості яких виступали провідники вагонів. Оцінка проводилася шляхом візуального спостереження салону ПЕ після вивантаження/завантаження пасажирів на зупинках. З рисунку.3.5 видно, що для значень $\alpha=0.5$ нечіткі змінні «дуже мале» та «мале», «середне» і «повне» невизначені при формуванні лінгвістичної змінної по правилам (3.4) для будь-яких значень кількості пасажирів, наприклад, з діапазону 0-20 людей функції приналежності $\mu_{\underline{C}}(\text{дуже мале}) = \mu_{\underline{C}}(\text{мале})$.



Рисункок. 3.5 Обмеження на лінгвістичну змінну НАПОВНЕННЯ.

Тому для організації контролю наповнення РО достатньо ввести чотири елементи, відповідно, {мале, повне, переповнене, дуже_переповнене}. Нехай бортовий контролер РО має чотири «кнопки», які формують функції приналежності відповідних елементів фрагментів ситуації ${}^0C_i^2 = \{\text{мал, повн, переп, дуже_переп}\}$. Структура СП, яка формує фрагмент нечіткої ситуації, приведена на рисунку 3.6.



Рисункок. 3.6 Структура фрагменту ситуації НАПОВНЕННЯ ПЕ.

Правило формування фрагменту ситуації приведено нижче.

$$\underline{\Pi}^2 = \{({}^0\underline{\hat{C}}_j^1 = \{\text{мал}|1, \text{полн}|1, \text{перп}|1, \text{оч_прп}|1\}), \underline{IF}_{01}^1\} \quad (2.31)$$

где

	малое	полное	переполнен	очень переполнен	
\underline{IF}_{01}^1	мал	1.0	0.3	0.0	0.0
\underline{IF}_{01}^1	полн	0.25	1.0	0.15	0.0
\underline{IF}_{01}^1	переп	0.0	0.15	1.0	0.3
\underline{IF}_{01}^1	оч_переп	0.0	0.0	0.3	1.0

Функції приналежності відношення \underline{IF}_{01}^1 знайдені на основі даних рисунку.

3.6

Нехай диспетчер РО виходячи зі своїх оцінок, ввів інформацію

$${}^0C_j^2 = \{\text{мал}|0, \text{повн}|1, \text{переп}|0, \text{дуж_переп}|0\}.$$

По правилу (3.5) буде отримана модель фрагменту ситуації

$${}^0C_j^2 = \{\text{мале}|0.25, \text{повне}|1.0, \text{переповнене}|0.15, \text{дуже переповнене}|0.0\}.$$

3.5.2. Фрагмент ситуації, який описує кілтькість пасажирів на зупинці.

Викладки, аналогічні приведеним у п.3.5.1 приводять к структурі фрагменту ситуації по кількості пасажирів на зупинці, яке оцінюється у одиницях наповненності ПЕ:

$${}^0C_j^4 = \{0.5_ПЕ, 1.0_ПЕ, 1.5_ПЕ, БОЛЕЕ_2_ПЕ\},$$

де j - номер зупинки.

Особливість цього фрагмента у тому, що фрагмент пов'язані не з рухомою одиницею, і з зупинкою. Структура фрагмента має вигляд аналогічний (3.4), а декларативне правило формування моделі ситуації наведено нижче.

$$\underline{\Pi}^3 = \{({}^0\hat{C}_j^4 = \{0.5_ПЕ|1, 1.0_ПЕ|1, 1.5_ПЕ|1, БОЛЕЕ\ 2_ПЕ|1\}), \underline{IF}_{01}^1\}.$$

		почти 0.5 ПЕ	почти 1 ПЕ	почти 1.5 ПЕ	более 2 ПЕ
$\underline{IF}_{01}^1 =$	0.5 ПЕ	1.0	0.55	0.15	0.0
	1.0 ПЕ	0.65	1.0	0.75	0.15
	1.5 ПЕ	0.1	0.6	1.0	0.85
	БОЛЕЕ 2 ПЕ	0.0	0.15	0.45	1.0

3.5.3. Фрагмент ситуації, яка характеризує технічний стан ПЕ

Бортова система контролю технічного стану рухомої одиниці використовує інформацію з датчиків:

- цифрові датчики - енергоспоживання, освітлення;
- аналогові датчики - тормозні, тиску шин, зчепу, буксових вузлів.

Попередня обробка інформації з цих датчиків виконується бортовим комп'ютером. Інтегрована характеристика технічного стану РО передається в Диспетчерський пункт, на основі якого формується фрагмент ситуації C_i^3 . По i -й РО вихідна інформація для формування ситуації наступна

$${}^0C_i^3 = \{\text{осв}, \text{энптр}_M, \text{энптр}_H, \text{энптр}_B, \text{торм}_H, \text{торм}_O, \text{торм}_A, \text{двл}_H, \text{двл}_O, \text{двл}_A, \text{сцп}_A, \text{сцп}_H, \text{сцп}_O, \text{бкс}_H, \text{бкс}_A, \text{бкс}_O\}$$

де осв - елемент, функція приналежності якого $\mu(\text{осв})=1$, коли освітлення вімкнено и $\mu(\text{осв})=0$ в протилежному випадку;

энптр_M, энптр_H, энптр_B - елементи, які відповідають енергоспоживанню нижче норми, нормі та вище норми;

торм_M, торм_A, торм_O - стан тормозної системи нормальне, аварійне та небезпечне;

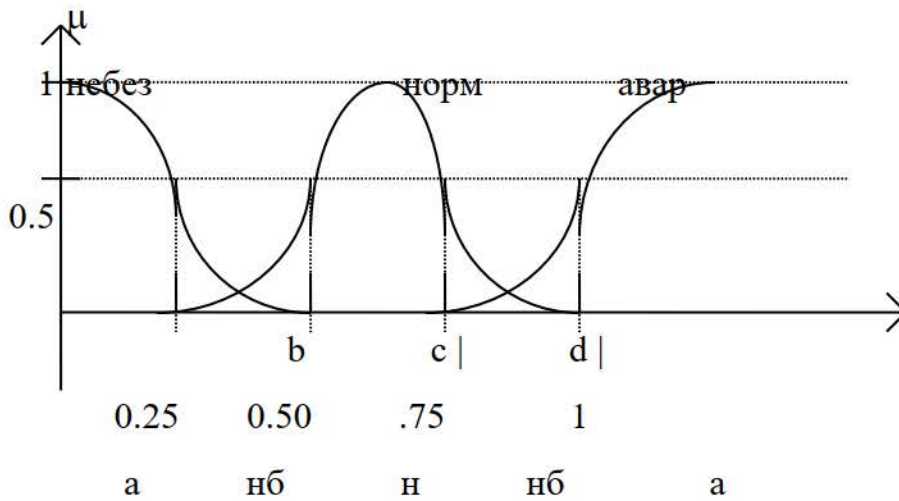
двл_M, двл_A, двл_O - стан тиску в системі - нормальне, аварійне та небезпечне;

сцп_M, сцп_A, сцп_O - стан зчепу - нормальне, аварійне та небезпечне;

бкс_M, бкс_A, бкс_O - стан буксових вузлів - нормальне, аварійне та небезпечне;

Як видно, окрім освітлення, всі параметри передаються як трьох позиціоні. Це зроблено для того, щоб нечіткі моделі ситуації які на них форуються були більш інформативні. На рисунку. 3.7 приведено розмеження області значеня параметру на інтервали. З цілю демонстрації загального підходу взята універсальна шкала та функції приналежності (обмеження) лінгвістичного

значення нормально и аварійного. Для порогу $\alpha=0.5$, при якому значення змінної можливо чітко віднести до норми або аварійного, отримано розбиття області значення на п'ять інтервалів.



Рисункок.3.7. Функції приналежності нормального та аварійного значення параметрів.

На рисунку вони обозначені а, нб, н, нб, а, відповідно, а - аварійне, н - нормальне, нб - небезпечне. Сенс інтервалу «небезпечно» у тому, що, якщо, наприклад, значення параметру дорівнює 0.2, то $\mu(0.2)=0.35$ та $\mu_{\alpha}(0.2)=0$, тобто, при спробі віднести значення 0.2 до одного з двох найближчих по рівню $\alpha=0.5$ звичайній множині (норма, авар) отримаємо $\mu_{\text{авар}_{\alpha}} = 0$, $\mu_{\text{норм}_{\alpha}} = 0$. Тому введено проміжний інтервал - «небезпечно».

Зараз перейдемо до фрагменту ситуації технічного стану ПЕ. Структура фрагменту приведена на рисунку. 3.8. Структура дворівнева. Нижній рівень включає елементи ${}^0C_j^3 = \{\text{торм}_н, \text{торм}_а, \text{торм}_о, \text{двл}_н, \text{двл}_а, \text{двл}_о, \text{сцп}_н, \text{сцп}_а, \text{сцп}_о, \text{бкс}_н, \text{бкс}_а, \text{бкс}_о, \text{осв}, \text{енпт}_н, \text{енпт}_м, \text{енпт}_б\}$ функції приналежності яких формуються при надходженні інформації від бортового комп'ютера j-й РО Функції приналежності формуються наступним чином

{ 1, якщо код «норм» —

$\mu(\text{торм_н}) = \mu(\text{двл_н}) = \mu(\text{сцп_н}) = \mu(\text{бкс_н}) = 0$, якщо код «авар»

0.25, якщо код «небезп»

—



1, якщо код «авар»

$\mu(\text{торм_а}) = \mu(\text{двл_а}) = \mu(\text{сцп_а}) = \mu(\text{бкс_а}) = 0$, якщо код «норм»

0.25, якщо код «небезп»



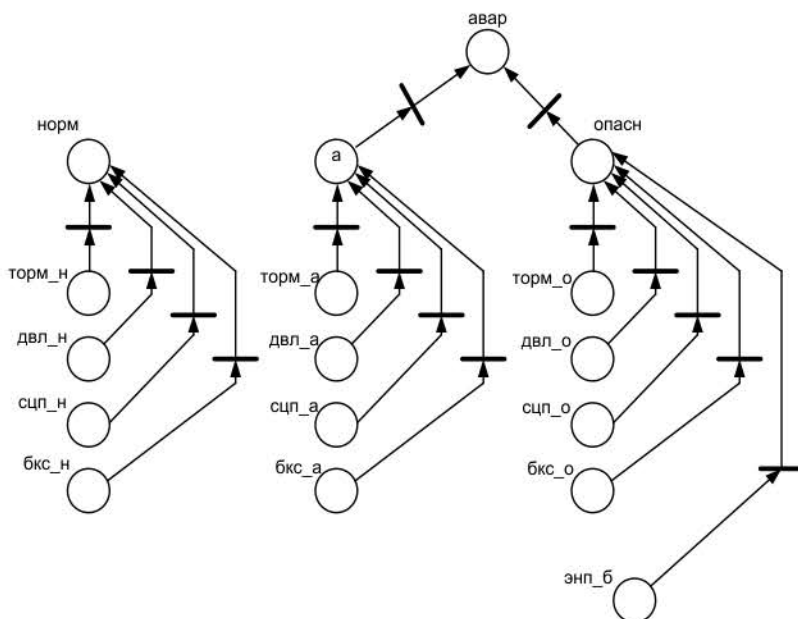
1, якщо код «небезп»

$\mu(\text{торм_нб}) = \mu(\text{двл_нб}) = \mu(\text{сцп_нб}) = \mu(\text{бкс_нб}) = 0$, якщо код «авар»

0, якщо код «норм»

Функції приналежності елементів другого півня норм $a \in {}^1C_j^3$ формуються відношенням \exists , а функції приналежностей елементів небезп, авар $\in {}^2C_j^3$ за допомогою, наприклад, операції композиції нечітких множин.

Необхідність застосування операції алгебраїчної суми викликана тим, що кілька факторів вносять вклад пропорційно своїй функції приналежності у приналежності загального факту небезпечно.



Рисункок. 3.8. Структура фрагменту ситуації «технічний стан» ПЕ.

3.5.4. Фрагмент ситуації, який характеризує стан колії

Інформація для оцінки стану колії формується в підсистемі ІУС колійного господарства. По кожній ділянці маршруту в підсистемі диспетчерського управління зберігається узагальнена характеристика колії, представлена у вигляді лінгвістичної змінної «СТАН_КОЛІЇ» с терм-множинами

$T(\text{СТАН_КОЛІЇ}) = \{\text{ремонт, аварійн, допуст_к-сть_несп, мал_к-сть_несп, нема_несп}\}$.

Код стану колії вводиться с клавіатури в ІУС колійного господарства. По коду будується нечітка множина, фрагменту ситуації

$$\begin{cases} 1, \text{ якщо код «ремонт»} \\ \mu(\text{ремонт}) = 0, \text{ в інших випадках} \end{cases}$$

$$\begin{cases} 1, \text{ якщо код «аварійн»} \\ \mu(\text{аварійн}) = 0.35, \text{ якщо код «допуст_к-сть_несп»} \\ 0, \text{ в інших випадках} \end{cases}$$

$$\begin{cases} 1, \text{ якщо код «допуст_к-ть_несп»} \\ \mu(\text{допуст_к-сть_неисп}) = 0.5, \text{ якщо код «мал_к-сть_несп»} \\ 0, \text{ в інших випадках} \end{cases}$$

$$\begin{cases} 1, \text{ якщо код «мал_к-сть_несп»} \\ \mu(\text{мал_к-сть_несп}) = 0.5, \text{ якщо код «допуст_к-сть_несп»} \\ 0.1, \text{ якщо код «нема несп»} \end{cases}$$

0, в інших випадках

{ 1, якщо код «нема_несп»
μ(нема_несп)=0.1, якщо код «мал_к-сть_несп»
0, в інших випадках

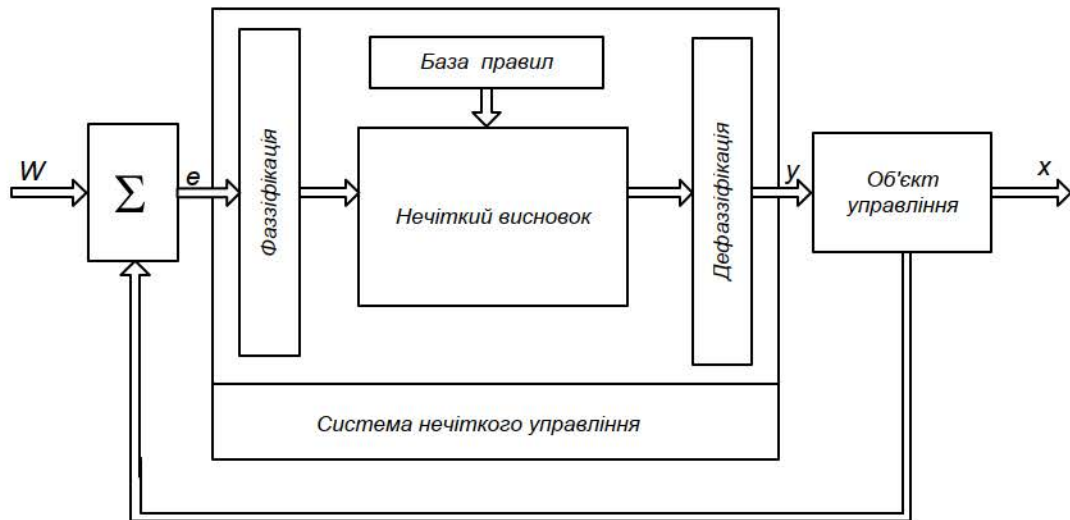
4. Застосування методу нечіткого висновку при вирішенні задач нечіткого керування швидкістю рухомої одиниці

4.1 Архітектура системи нечіткого керування

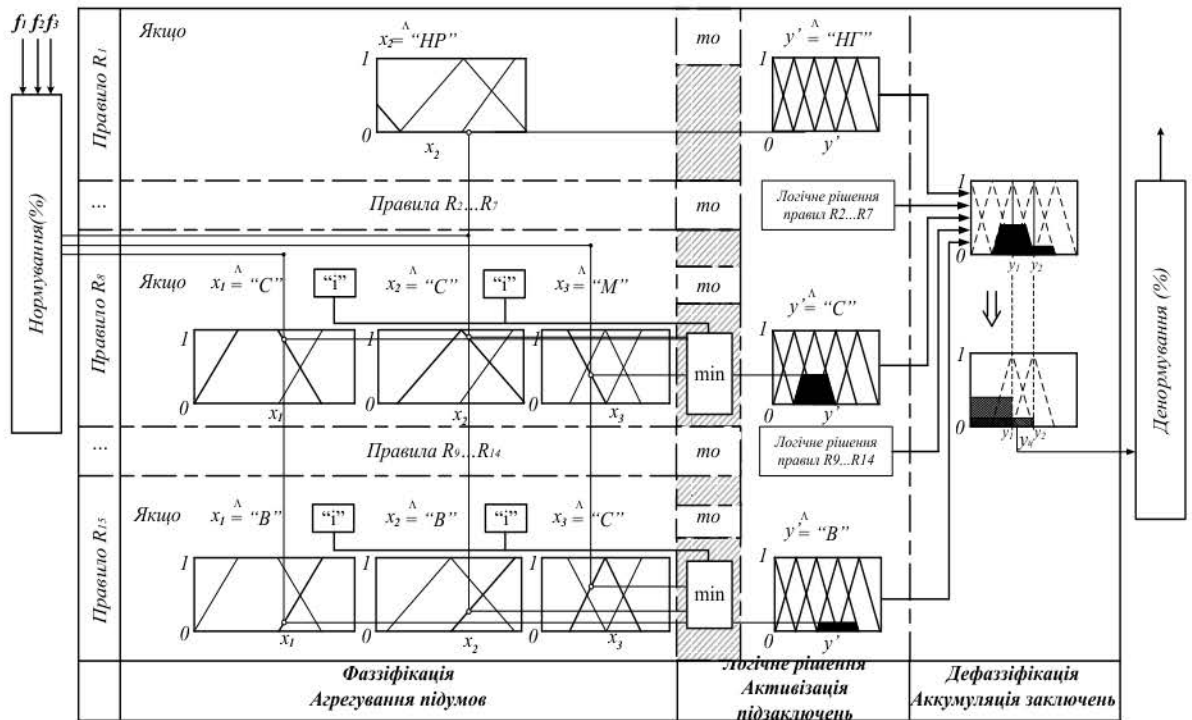
При розв'язанні задач управління різними об'єктами або процесами в широкому ряді випадків зручно викориснукутовувати системи нечіткого висновку. Тут побудова нечіткої моделі ґрунтується на формальному уявленні характерисункутик системи, що досліджується, в термінах лінгвістичних змінних. Оскільки, крім алгоритму управління, основними поняттями систем керування є вхідні й вихідні змінні, то саме вони розглядаються як лінгвістичні змінні при формуванні бази правил у системах нечіткого висновку.

У загальному випадку мета управління полягає в тому, щоб на основі аналізу поточного стану об'єкта управління визначити значення керуючих змінних, реалізація яких дозволяє забезпечити бажану поведінку або стан об'єкта управління. Для рішення відповідних задач викориснукутовується загальна теорія управління, у рамках якої розроблені різні алгоритми знаходження оптимальних законів керування об'єктами різної фізичної природи.

Архітектура або модель нечіткого управління заснована на заміні класичної системи управління системою нечіткого управління (рисунок 4.1), у якості якої викориснукутовуються системи нечіткого висновку. У цьому випадку модель нечіткого управління будується з урахуванням необхідності реалізації всіх етапів нечіткого висновку, а сам процес висновку реалізується на основі одного з розглянутих алгоритмів нечіткого висновку.



Структурна схема ситуаційної системи нечіткого висновку



$R_1...R_{15}$ – база правил нечітких продукцій
 f_1, f_2, f_3 - вхідні сигнали
 x_1, x_2, x_3 - вхідні лінгвістичні змінні
 y - вихідний сигнал контролера

Рисунок 4.1 – Архітектура системи нечіткого управління

Інформацією, яка надходить на вхід системи нечіткого висновку, – виміряні деяким чином вхідні змінні. Ці змінні відповідають реальним змінним процесу керування. Інформація, що формується на виході системи нечіткого висновку,

відповідає вихідним змінним, які є керуючими змінними процесу керування.

Системи нечіткого висновку призначені для перетворення значень вхідних змінних процесу керування у вихідні змінні на основі викориснування нечітких правил продукцій. Для цього системи нечіткого висновку повинні містити базу правил нечітких продукцій і реалізовувати нечіткий висновок на основі посилок або розумів, представлених у формі нечітких лінгвістичних висловлень.

Таким чином, основними етапами нечіткого висновку є [12]:

- нормалізація вхідних змінних;
- формування бази правил систем нечіткого висновку;
- фазифікація вхідних змінних;
- агрегування підумов у нечітких правилах продукцій;
- активізація або композиція підзаклучення в нечітких правилах продукцій;
- акумулювання висновків нечітких правил продукцій;
- дефазифікація вихідних змінних;
- денормалізація вихідних змінних.

База правил систем нечіткого висновку призначена для формального подання емпіричних знань або знань експертів у тій або іншій проблемній області. У системах нечіткого висновку викориснуються правила нечітких продукції, у яких умови й висновки сформульовані в термінах нечітких лінгвістичних висловлень.

Лінгвістичною називають змінну, значеннями якої є слова й фрази природної мови (терми). Формально лінгвістична змінна визначається набором (кортежем) $\langle \beta, X, T, G, M \rangle$. Тут β - назва змінної, T - терм множина змінної β , областю визначення якої є множина X , G - синтаксична процедура, M - семантична процедура, що відображає кожне нове значення змінної β у нечітку підмножину $M(\beta)$ множини X .

База правил нечітких продукцій являє собою кінцеву безліч правил нечітких продукцій, узгоджених щодо викорисункутаних у них лінгвістичних змінних. Найбільш часто база правил представляється у формі структурованого тексту:

$$\begin{aligned} \text{ПРАВИЛО}_1: & \text{ЯКЩО " Умова}_1", \text{ ТО "Висновок}_1" (F_1) \\ \text{ПРАВИЛО}_2: & \text{ЯКЩО " Умова}_2", \text{ ТО "Висновок}_2" (F_2) \\ \text{ПРАВИЛО}_n: & \text{ЯКЩО " Умова}_n", \text{ ТО "Висновок}_n" (F_n) \end{aligned} \quad (3.6)$$

Тут через F_i ($i \in \{1, 2, \dots, n\}$) позначені коефіцієнти визначеності або вагові коефіцієнти відповідних правил. Ці коефіцієнти можуть приймати значення з інтервалу $[0, 1]$. У випадку, якщо ці вагові коефіцієнти відсутні, зручно прийняти, що їхні значення дорівнюють 1.

Як умови й висновки правил можуть викорисункутатися тільки прості нечіткі лінгвістичні висловлення, при цьому в кожному з нечітких висловлень повинні бути визначені функції приналежності значень терм - безлічі для кожної з лінгвістичних змінних.

У системах нечіткого висновку лінгвістичні змінні, які викорисункутаються в нечітких висловленнях підумов правил нечітких продукцій, часто називають вхідними лінгвістичними змінними, а змінні, які викорисункутаються в нечітких висловленнях підзаключень правил нечітких продукцій, часто називають вихідними лінгвістичними змінними.

Таким чином, при завданні або формуванні бази правил нечітких продукцій необхідно визначити: безліч правил нечітких продукцій: $P = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$, безліч вхідних лінгвістичних змінних: $V = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$ і множину вихідних лінгвістичних змінних: $W = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$. Тобто база правил нечітких продукцій вважається заданою, якщо задані безлічі P, V, W .

Фаззифікація – процес або процедура знаходження значень функції приналежності нечітких множин (термів) на основі звичайних (чітких) вихідних даних. Метою етапу фаззифікації є встановлення відповідності між конкретним (звичайно чисельним) значенням окремої вхідної змінної системи нечіткого

висновку й значенням функції приналежності відповідних їй термів вхідних лінгвістичних змінних, які викориснуються в підумовах бази правил системи нечіткого висновку. Формально процедура фаззифікації виконується в такий спосіб. До кінця цього етапу передбачаються відомими конкретні значення всіх вхідних змінних системи нечіткого висновку, тобто безліч значень $V' = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$. У загальному випадку кожне $a_i \in x_i$, де x_i - універсум лінгвістичної змінної β_i . Ці значення можуть бути отримані або від датчиків, або деяким іншим способом. Етап фаззифікації вважається закінченим, коли будуть знайдені всі значення функцій приналежності $b'_i = \mu(a_i)$ для кожної з підумов всіх правил, що входять у розглянуту базу правил систем нечіткого висновку. Цю множину значень позначимо через $B = \{b'(I)\}$. При цьому якщо деякий терм α'' лінгвістичної змінної β_i не є присункуутнім у жодному з нечітких висловлень, ті відповідне йому значення функції приналежності не перебуває в процесі фаззифікації.

Агрегування являє собою процедуру визначення ступеня істинності умов по кожному із правил системи нечіткого висновку. Формально процедура агрегування виконується в такий спосіб. До початку цього етапу передбачаються відомими значення істинності всіх підумов системи нечіткого висновку, тобто безліч значень $B = \{b'(I)\}$. Далі розглядається кожна з умов правил системи нечіткого висновку. Якщо умова правила являє собою просте нечітке висловлення, то ступінь його істинності дорівнює відповідному значенню $b'(i)$. Якщо ж умова складається з декількох простих підумов, причому лінгвістичні змінні в підумовах попарно не рівні одне одному, то визначається ступінь істинності складного висловлення на основі відомих значень істинності підумов. Етап агрегування вважається закінченим, коли будуть знайдені всі значення b''_k для кожного із правил R_k , що входять у розглянуту базу правил P системи нечіткого висновку. Ця множина значень позначимо через $B'' = \{b''_1, b''_2, \dots, b''_n\}$.

Активізація – це процес знаходження ступеня істинності кожного з підзаключень правил нечітких продукцій. Активізація в загальному випадку багато в чому аналогічна композиції нечітких відносин, але не тотожна їй. Формально процедура активізації виконується наступним чином. До початку цього етапу передбачаються відомими множина значень $B'' = \{b''_1, b''_2, \dots, b''_n\}$ і значення вагових коефіцієнтів F_i для кожного правила. Далі розглядається кожен з висновків правил системи нечіткого висновку. Якщо висновок правила являє собою просте нечітке висловлення, то ступінь його істинності дорівнює алгебраїчному добутку відповідного значення b''_i на ваговий коефіцієнт F_i . Якщо ж висновок складається з декількох підзаключень, причому лінгвістичні змінні в підзаключеннях попарно не рівні одне одному, то ступінь істинності кожного з підзаключень дорівнює алгебраїчному добутку відповідного значення b''_i на ваговий коефіцієнт F_i . Таким чином перебирають всі значення C_k ступенів істинності підзаключень для кожного із правил R_k , що входять у розглянуту базу правил P систем нечіткого висновку. Це множина значень $C = \{C_1, C_2, \dots, C_q\}$, де q – загальна кількість підзаключень у базі правил. Після знаходження безлічі $C = \{C_1, C_2, \dots, C_q\}$ визначаються функції приналежності кожного з підзаключень для розглянутих лінгвістичних змінних. Для цієї мети можна викориснутати один з методів:

$$\text{min} - \text{активізація:} \quad \mu'(y) = \min\{C_i, \mu(y)\}; \quad (4.1)$$

$$\text{prod} - \text{активізація:} \quad \mu'(y) = C_i \cdot \mu(y); \quad (4.2)$$

$$\text{average} - \text{активізація:} \quad \mu'(y) = 0.5 \cdot (C_i + \mu(y)) \quad (4.3)$$

де $\mu(y)$ – функція приналежності терма, що є значенням деякої вихідної змінної ω_j , заданої на універсумі.

Етап активізації вважається закінченим, коли для кожної з вихідних лінгвістичних змінних в підзаключеннях правил нечітких продукцій будуть визначені функції приналежності нечітких множин їхніх значень, тобто сукупність нечітких безлічей: C_1, C_2, \dots, C_q , де q – загальна кількість

підзаключеннь в базі правил системи нечіткого висновку.

Акумуляція – процедура або процес знаходження функції приналежності для кожної з вихідних лінгвістичних змінних множини $W = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_s\}$. Мета акумуляції полягає у тому, щоб об'єднати або акумулювати всі ступені істинності висновків (підзаключень) для одержання функції приналежності кожної з вихідних змінних. Формально процедура акумуляції виконується в такий спосіб. Послідовно розглядається кожна з вихідних лінгвістичних змінних $\omega \in W$ та відповідні їй нечіткі множини $C_{j1}, C_{j2}, \dots, C_{jq}$. Результат акумуляції для вихідної лінгвістичної змінної ω_j визначається як об'єднання нечітких множин $C_{j1}, C_{j2}, \dots, C_{jq}$. Етап акумуляції вважається закінченим, коли для кожної з вихідних лінгвістичних змінних будуть визначені підсумкові функції приналежності нечітких множин їхніх значень, тобто сукупність нечітких безлічей: C_1', C_2', \dots, C_s' , де s – загальна кількість вихідних лінгвістичних змінних у базі правил системи нечіткого висновку.

Дефаззифікація – процес знаходження звичайного (не нечіткого) значення для кожної з вихідних лінгвістичних змінних безлічі $W = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_s\}$. Мета дефаззифікації полягає в тому, щоб, викориснутовоюючи результати акумуляції всіх вихідних лінгвістичних змінних, одержати звичайне кількісне значення для кожної з вихідних змінних, котре може бути викориснуто спеціальними присункутрянми, зовнішніми стосовно системи нечіткого висновку. Формально процедура дефаззифікації виконується в такий спосіб. Послідовно розглядається кожна з вихідних лінгвістичних змінних $\omega_j \in W$ і відповідна їй нечітка множина C_j' . Результат дефаззифікації для вихідної лінгвістичної змінної ω_j є кількісне значення $y_j \in R$. Етап дефаззифікації вважається закінченим, коли для кожної з вихідних лінгвістичних змінних будуть визначені підсумкові кількісні значення у формі деякого дійсного числа, тобто у вигляді y_1, y_2, \dots, y_s , де s – загальна кількість вихідних лінгвістичних змінних у базі правил системи нечіткого висновку.

Для виконання чисельних розрахунків на етапі дефазифікації можуть бути викориснуті наступні формули, що одержали назви методів дефазифікації:

Метод центра ваги:

$$y = \frac{\int_{Min}^{Max} x \cdot \mu(x) dx}{\int_{Min}^{Max} \mu(x) dx} \quad (4.5)$$

Метод лівого модального значення:

$$y = \min\{x_m\}, \quad (4.6)$$

де x_m – модальне значення (мода) нечіткої множини, що відповідає вихідній змінній ω після акумуляції.

Метод правого модального значення:

$$y = \max\{x_m\}, \quad (4.7)$$

Зазначені вище етапи реалізуються за допомогою алгоритмів нечіткого висновку. Зараз запропоновані декілька таких алгоритмів (алгоритм Мамдані, Сугено, Цукамото), в даному проекті в подальших розрахунках викориснуканий алгоритм Мамдані.

4.1.1 Логична модель блока формування заданого графіка швидкості рухомої одиниці

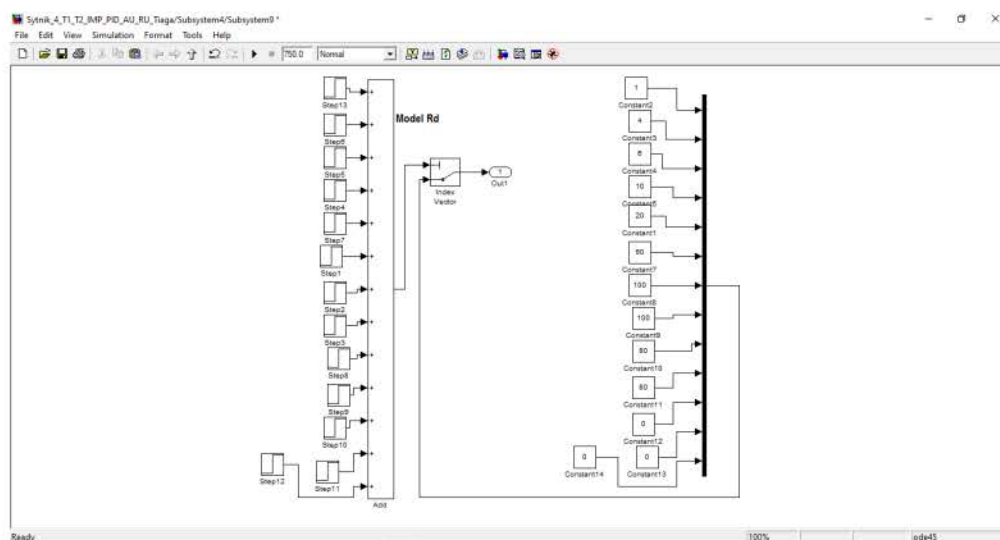


Рисунок 4.2 - Логична модель блока формування заданого графіка швидкості рухомої одиниці

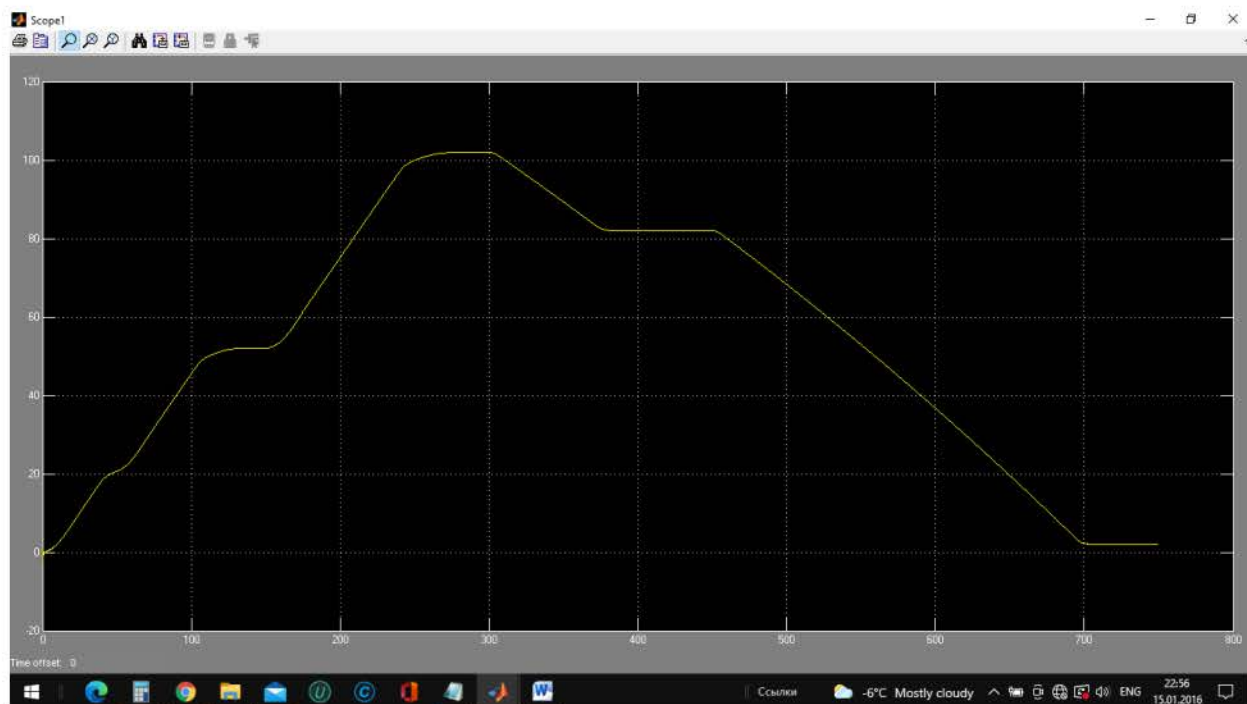


Рисунок 4.3 - Графік швидкості рухомої одиниці

4.2 Нечітка модель формування заданого графіка швидкості рухомої одиниці

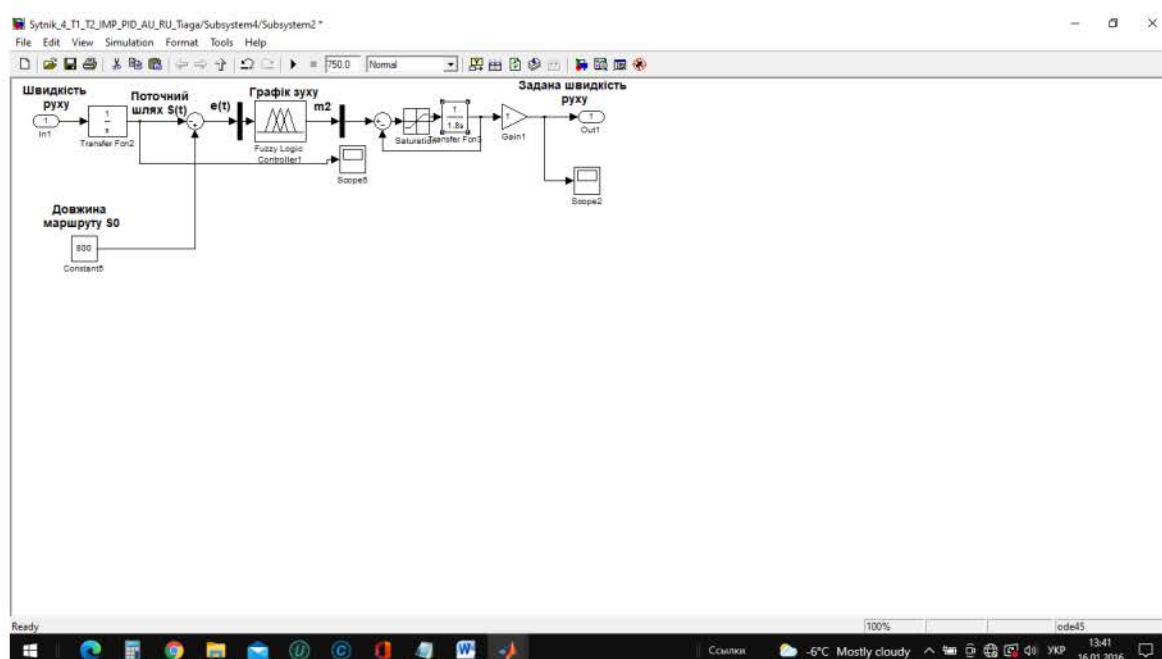


Рисунок 4.4 - Модель завдання швидкості руху на ділянці проїзду

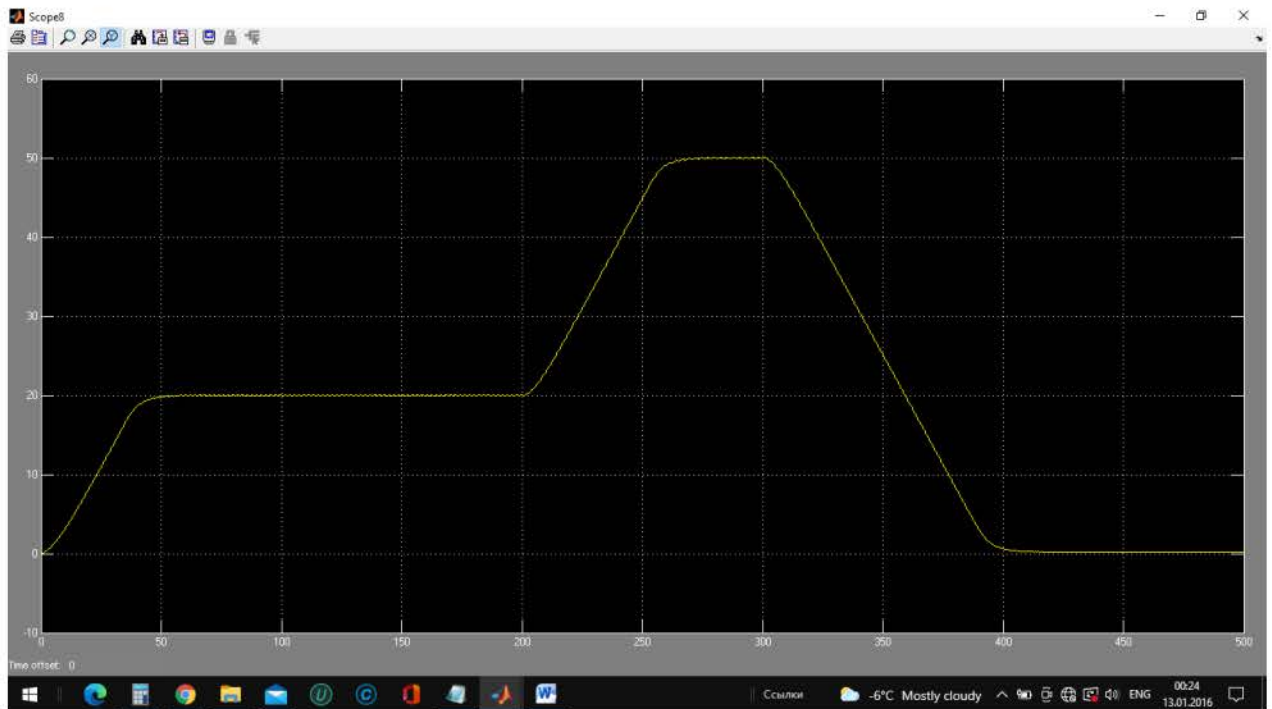


Рисунок 4.5 - Графік швидкості рухомої одиниці

4.3 Нечітка система формування і регулювання заданого графіка швидкості рухомої одиниці

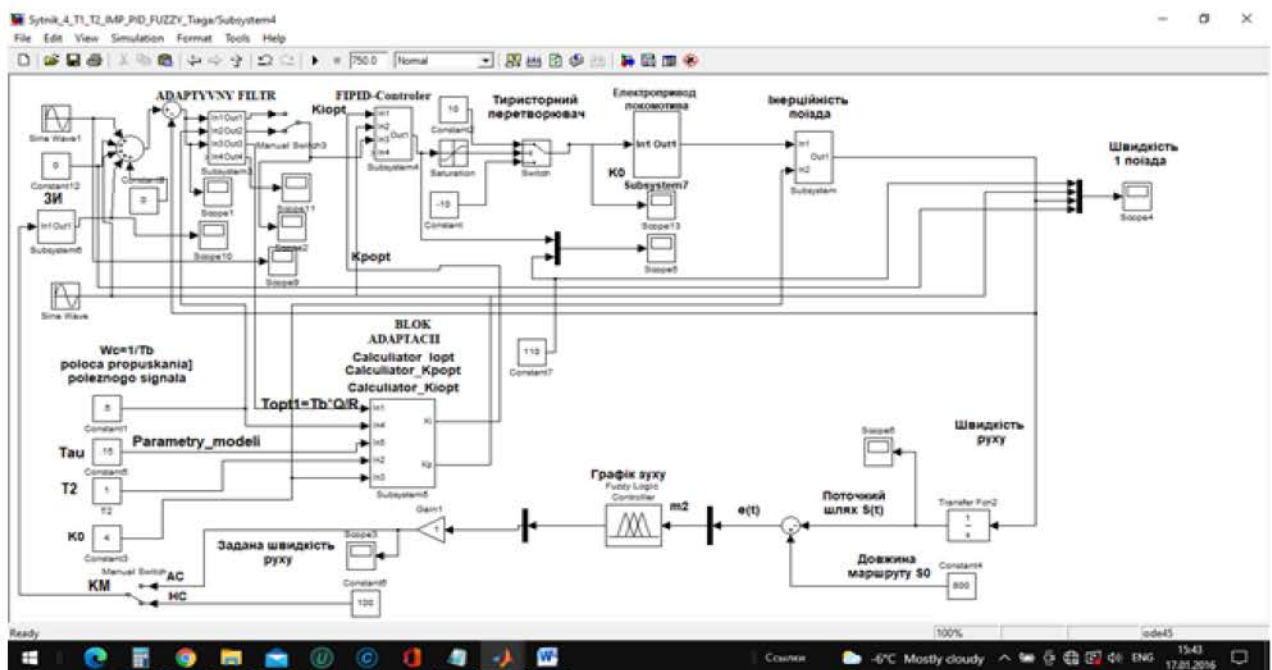


Рисунок 4.6 - Структурна схема моделі системи з нечітким формуванням і регулюванням заданої швидкості рухомої одиниці

4.4 Нечітка модель регулювання швидкості рухомої одиниці

Спираючись на розглянутий вище метод нечіткого висновку, створимо нечітку модель регулювання швидкості руху рухомої одиниці. Для цього визначимо набори вхідних та вихідних параметрів системи нечіткого висновку, що представляють собою лінгвістичні змінні; терм-множини (множини значень) вхідних та вихідних лінгвістичних змінних; функції приналежності лінгвістичних змінних.

До вхідних параметрів моделі, що розглядається, належать:

- «*НАПОВНЕННЯ*» – інформація про наповнення рухомої одиниці пасажирами, позначимо його як β_1 , терм-множиною β_1 є множина $T_1 = \{\text{Порожнє, Мале Середнє, Велике, Критичне}\}$, або у скороченому вигляді $T_1 = \{P, M, S, V, K\}$;

- «*ГРАФІК*» – відповідність положення рухомої одиниці графіку руху, позначимо його β_2 , терм-множина $T_2 = \{\text{Відставання Значне, Відставання Помірне, Оптимально, Випередження Помірне, Випередження Значне}\}$, скорочено $T_2 = \{VdZ, VdP, O, VpP, VpZ\}$;

- «*ТЕХНІЧНИЙ СТАН*» – технічний стан рухомої одиниці, позначимо його β_3 , терм-множина $T_3 = \{\text{Незадовільний, Задовільний, Оптимальний}\}$, скорочено $T_3 = \{N, Z, O\}$.

Вихідним параметром моделі є «*ШВИДКІСТЬ РО*» – швидкість рухомої одиниці, позначимо її як ω_1 . Змінна ω_1 визначається наступною терм-множиною $T = \{\text{Мінімальна, Мала, Середня, Велика, Максимальна}\}$, скорочено $T = \{Min, Ml, S, V, Max\}$.

Складемо базу правил нечіткої продукції для моделі, що розглядається, в цих правилах визначимо стан вихідної змінної в залежності від значень трьох

ПРАВИЛО_56: ЯКЩО $\langle \beta_1 \rightarrow V \rangle$ I $\langle \beta_2 \rightarrow VpP \rangle$ I $\langle \beta_3 \rightarrow Z \rangle$, ТО $\langle \omega_1 \rightarrow S \rangle$

ПРАВИЛО_57: ЯКЩО $\langle \beta_1 \rightarrow V \rangle$ I $\langle \beta_2 \rightarrow VpP \rangle$ I $\langle \beta_3 \rightarrow O \rangle$, ТО $\langle \omega_1 \rightarrow S \rangle$

ПРАВИЛО_58: ЯКЩО $\langle \beta_1 \rightarrow V \rangle$ I $\langle \beta_2 \rightarrow VpZ \rangle$ I $\langle \beta_3 \rightarrow N \rangle$, ТО $\langle \omega_1 \rightarrow Min \rangle$

ПРАВИЛО_59: ЯКЩО $\langle \beta_1 \rightarrow V \rangle$ I $\langle \beta_2 \rightarrow VpZ \rangle$ I $\langle \beta_3 \rightarrow Z \rangle$, ТО $\langle \omega_1 \rightarrow Ml \rangle$

ПРАВИЛО_60: ЯКЩО $\langle \beta_1 \rightarrow V \rangle$ I $\langle \beta_2 \rightarrow VpZ \rangle$ I $\langle \beta_3 \rightarrow O \rangle$, ТО $\langle \omega_1 \rightarrow Ml \rangle$

ПРАВИЛО_61: ЯКЩО $\langle \beta_1 \rightarrow K \rangle$ I $\langle \beta_2 \rightarrow VdZ \rangle$ I $\langle \beta_3 \rightarrow N \rangle$, ТО $\langle \omega_1 \rightarrow Min \rangle$

ПРАВИЛО_62: ЯКЩО $\langle \beta_1 \rightarrow K \rangle$ I $\langle \beta_2 \rightarrow VdZ \rangle$ I $\langle \beta_3 \rightarrow Z \rangle$, ТО $\langle \omega_1 \rightarrow V \rangle$

ПРАВИЛО_63: ЯКЩО $\langle \beta_1 \rightarrow K \rangle$ I $\langle \beta_2 \rightarrow VdZ \rangle$ I $\langle \beta_3 \rightarrow O \rangle$, ТО $\langle \omega_1 \rightarrow Max \rangle$

ПРАВИЛО_64: ЯКЩО $\langle \beta_1 \rightarrow K \rangle$ I $\langle \beta_2 \rightarrow VdP \rangle$ I $\langle \beta_3 \rightarrow N \rangle$, ТО $\langle \omega_1 \rightarrow Min \rangle$

ПРАВИЛО_65: ЯКЩО $\langle \beta_1 \rightarrow K \rangle$ I $\langle \beta_2 \rightarrow VdP \rangle$ I $\langle \beta_3 \rightarrow Z \rangle$, ТО $\langle \omega_1 \rightarrow V \rangle$

ПРАВИЛО_66: ЯКЩО $\langle \beta_1 \rightarrow K \rangle$ I $\langle \beta_2 \rightarrow VdP \rangle$ I $\langle \beta_3 \rightarrow O \rangle$, ТО $\langle \omega_1 \rightarrow Max \rangle$

ПРАВИЛО_67: ЯКЩО $\langle \beta_1 \rightarrow K \rangle$ I $\langle \beta_2 \rightarrow O \rangle$ I $\langle \beta_3 \rightarrow N \rangle$, ТО $\langle \omega_1 \rightarrow Min \rangle$

ПРАВИЛО_68: ЯКЩО $\langle \beta_1 \rightarrow K \rangle$ I $\langle \beta_2 \rightarrow O \rangle$ I $\langle \beta_3 \rightarrow Z \rangle$, ТО $\langle \omega_1 \rightarrow V \rangle$

ПРАВИЛО_69: ЯКЩО $\langle \beta_1 \rightarrow K \rangle$ I $\langle \beta_2 \rightarrow O \rangle$ I $\langle \beta_3 \rightarrow O \rangle$, ТО $\langle \omega_1 \rightarrow V \rangle$

ПРАВИЛО_70: ЯКЩО $\langle \beta_1 \rightarrow K \rangle$ I $\langle \beta_2 \rightarrow VpP \rangle$ I $\langle \beta_3 \rightarrow N \rangle$, ТО $\langle \omega_1 \rightarrow Min \rangle$

ПРАВИЛО_71: ЯКЩО $\langle \beta_1 \rightarrow K \rangle$ I $\langle \beta_2 \rightarrow VpP \rangle$ I $\langle \beta_3 \rightarrow Z \rangle$, ТО $\langle \omega_1 \rightarrow S \rangle$

ПРАВИЛО_72: ЯКЩО $\langle \beta_1 \rightarrow K \rangle$ I $\langle \beta_2 \rightarrow VpP \rangle$ I $\langle \beta_3 \rightarrow O \rangle$, ТО $\langle \omega_1 \rightarrow S \rangle$

ПРАВИЛО_73: ЯКЩО $\langle \beta_1 \rightarrow K \rangle$ I $\langle \beta_2 \rightarrow VpZ \rangle$ I $\langle \beta_3 \rightarrow N \rangle$, ТО $\langle \omega_1 \rightarrow Min \rangle$

ПРАВИЛО_74: ЯКЩО $\langle \beta_1 \rightarrow K \rangle$ I $\langle \beta_2 \rightarrow VpZ \rangle$ I $\langle \beta_3 \rightarrow Z \rangle$, ТО $\langle \omega_1 \rightarrow Ml \rangle$

ПРАВИЛО_75: ЯКЩО $\langle \beta_1 \rightarrow K \rangle$ I $\langle \beta_2 \rightarrow VpZ \rangle$ I $\langle \beta_3 \rightarrow O \rangle$, ТО $\langle \omega_1 \rightarrow Ml \rangle$

Після розробки бази правил можемо перейти безпосередньо до нечіткого моделювання процесу регулювання швидкістю. Розробку будемо проводити за допомогою інтегрованої середи розробок MatLab 6.5 та пакету Fuzzy Logic ToolBox, що входить до її складу [17-20].

На вхід системи нечіткого висновку у моделі, що розглядається, подаються вхідні змінні «НАПОВНЕННЯ», «ГРАФІК», «ТЕХНІЧНИЙ СТАН», що вже пройшли нормалізацію, фазифікацію і тепер представленні у вигляді трикутних

термів. Система прийняття рішення відповідно до стану нечітких вхідних змінних, спираючись на алгоритм нечіткого висновку Мамдані та визначену базу правил нечіткої продукції, визначає значення вихідної змінної. На рисунку 4.7 зображено зовнішнє представлення нечіткої моделі у редакторі FIS Editor пакету Fuzzy Logic Toolbox інтегрованої середовища розробок MatLab 6.5.

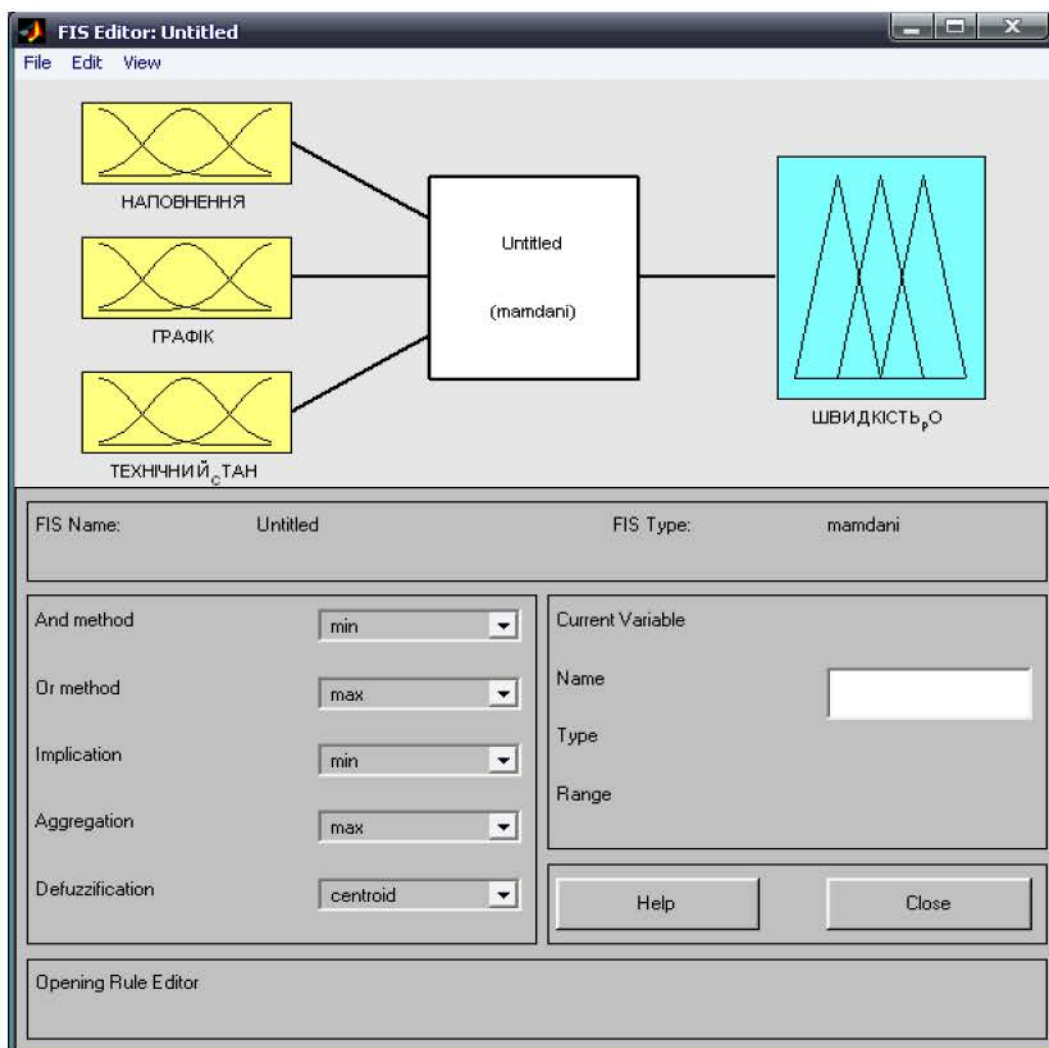


Рисунок 4.7 – Загальний вигляд нечіткої моделі

Залишимо без зміни запропоновані системою MATLAB за замовчуванням: метод нечіткого логічного І (And method) – значення “min”, метод нечіткого логічного АБО (Or method) - значення ”max”, метод імплікації (Implication) – значення “min”, метод агрегування (Aggregation) - значення ”max” і метод дефазифікації (Defuzzification) - значення “centroid”.

Визначимо терми та функції приналежності послідовно для кожної вхідної змінної.

Значення вхідної лінгвістичної змінної «*НАПОВНЕННЯ*» змінюється від 0 до 180 осіб. Терм-множина цієї змінної складається з п'яти термів трикутної форми (trimf): *Порожнє* – P [0 30], *Мале* – M [0 40 80], *Середнє* – S [40 90 140], *Велике* – V [100 140 180], *Критичне* – K [150 180]. На рисунку 4.8 зображені функції приналежності термів нечіткої змінної «*НАПОВНЕННЯ*».

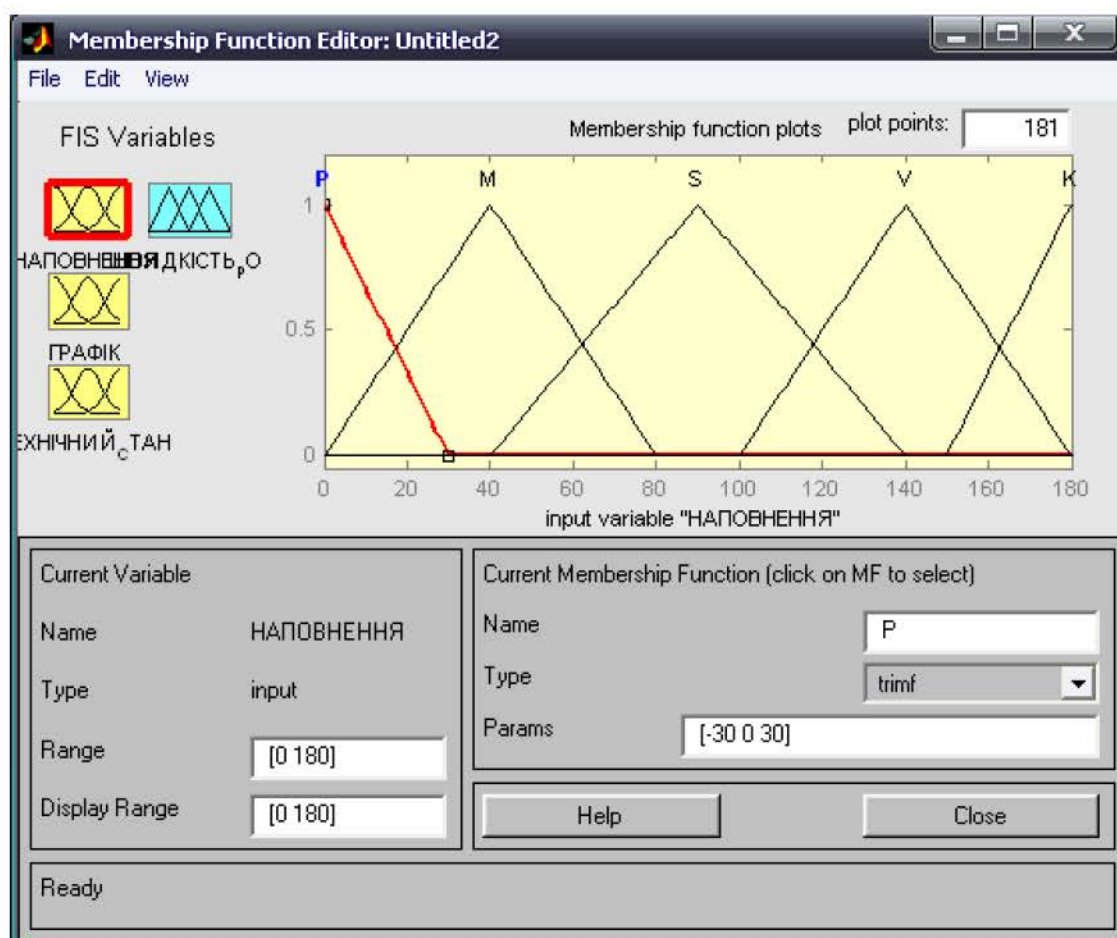


Рисунок 4.8 – Функції приналежності термів нечіткої змінної «*НАПОВНЕННЯ*»

Значення вхідної лінгвістичної змінної «*ГРАФІК*» змінюється від -30 до +30 хвилин. Терм-множина цієї змінної складається з п'яти термів трикутної форми (trimf): *Відставання Значне* – VdZ [-30 -20], *Відставання Помірне* – VdP [-30 -15

0], *Оптимально* – O [-10 0 +10], *Випередження Помірне* – VpP [0 +15 +30], *Випередження Значне* – VpZ [+20 +30]. На рисунку 4.9 зображені функції приналежності термів нечіткої змінної «ГРАФІК».

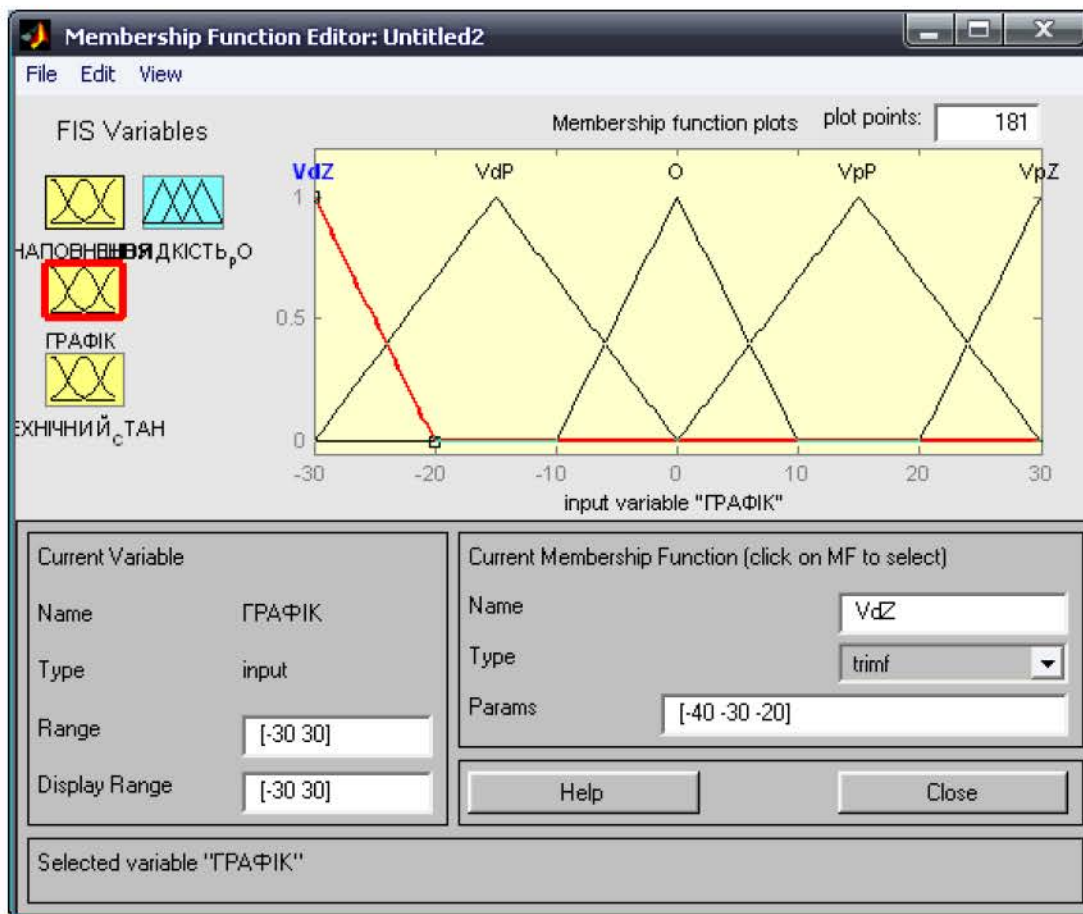


Рисунок 4.9 – Функції приналежності термів нечіткої змінної «ГРАФІК»

Значення вхідної лінгвістичної змінної «ТЕХНІЧНІЙ СТАН» змінюється від 0 до 1 відносних одиниць. Терм-множина цієї змінної складається з трьох термів трикутної форми (trimf): *Незадовільно* – N [0 0.4], *Задовільно* – Z [0.1 0.5 0.9], *Оптимально* – O [0.6 1]. На рисунку 4.10 зображені функції приналежності термів нечіткої змінної «ТЕХНІЧНІЙ СТАН».

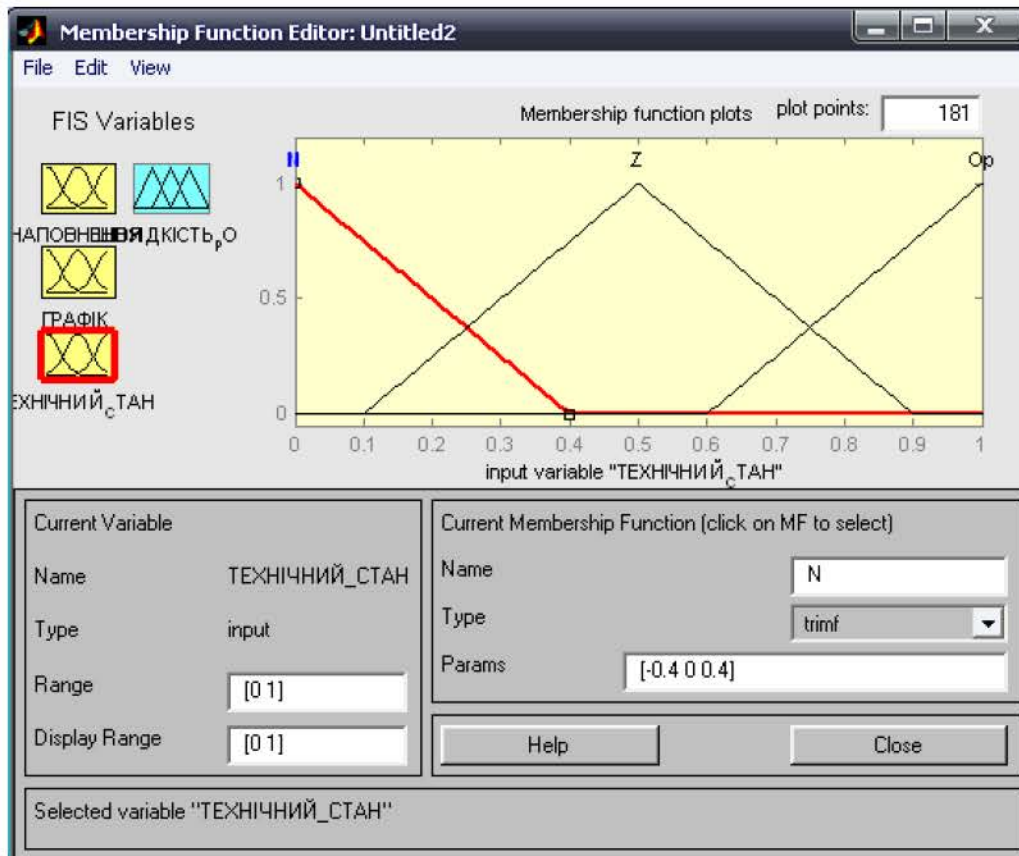


Рисунок 4.10 – Функції приналежності термів нечіткої змінної
«ТЕХНІЧНИЙ СТАН»

Визначимо терми та функції приналежності для вихідної змінної. Значення вихідної лінгвістичної змінної «ШВИДКІСТЬ РО» змінюється від 0 до 60 км/год. Терм-множина цієї змінної складається з п'яти термів трикутної форми (trimf): *Мінімальна* – Min [0 10], *Мала* – Ml [0 15 30], *Середня* – S [20 30 40], *Велика* – V [30 45 60], *Максимальна* – Max [50 60]. На рисунку 3.6 зображені функції приналежності термів нечіткої змінної «ШВИДКІСТЬ РО». Як було зазначено вище, значення цієї змінної обчислюється на основі визначених продукційних правил. Для моделі, що розглядається, в редакторі правил були записані всі 75 необхідних правил. На рисунку 4.11 представлений результат нечіткого висновку значенні вихідної нечіткої змінної «ШВИДКІСТЬ РО».

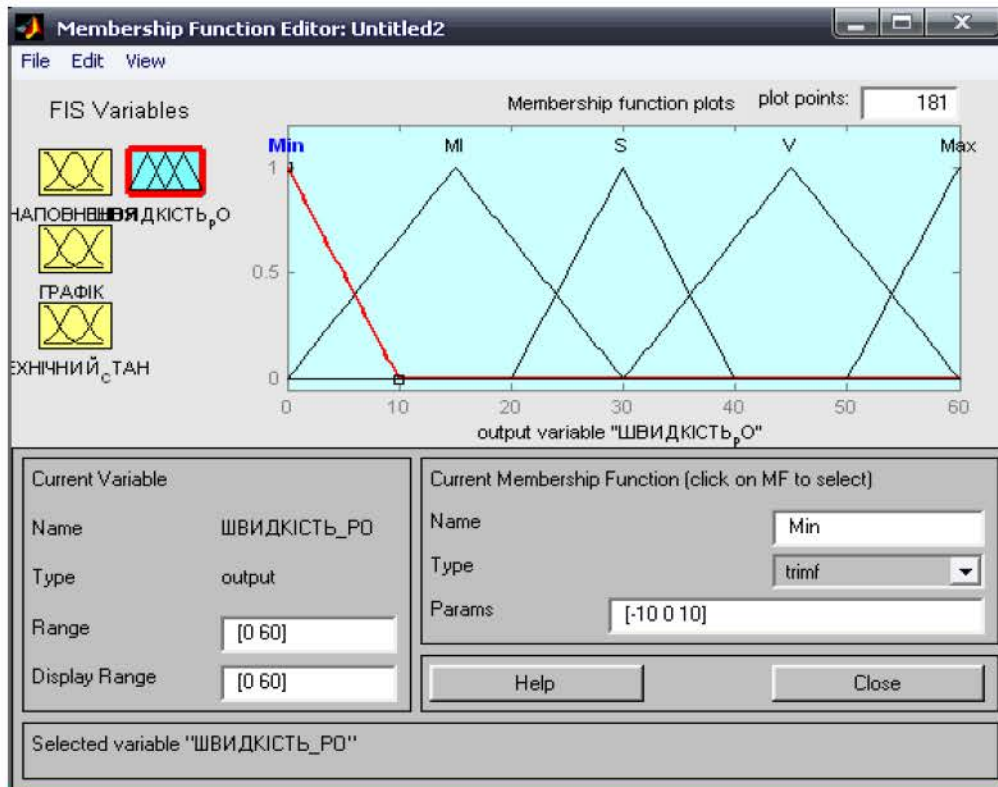


Рисунок 4.11 – Функції приналежності термів нечіткої змінної «ШВИДКІСТЬ РО»

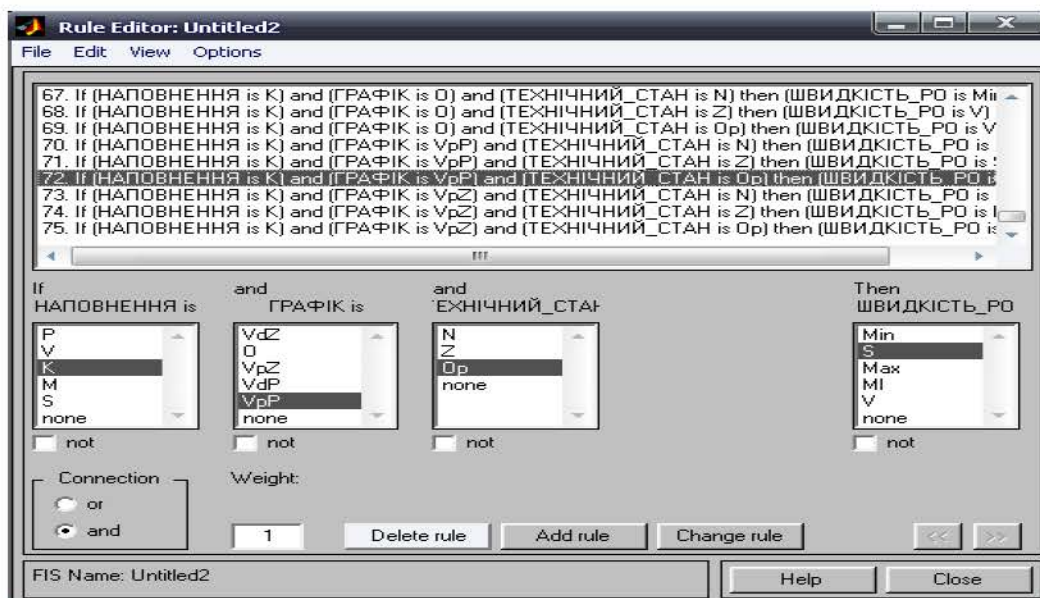


Рисунок 4.12 – База правил нечіткої продукції для поточної моделі

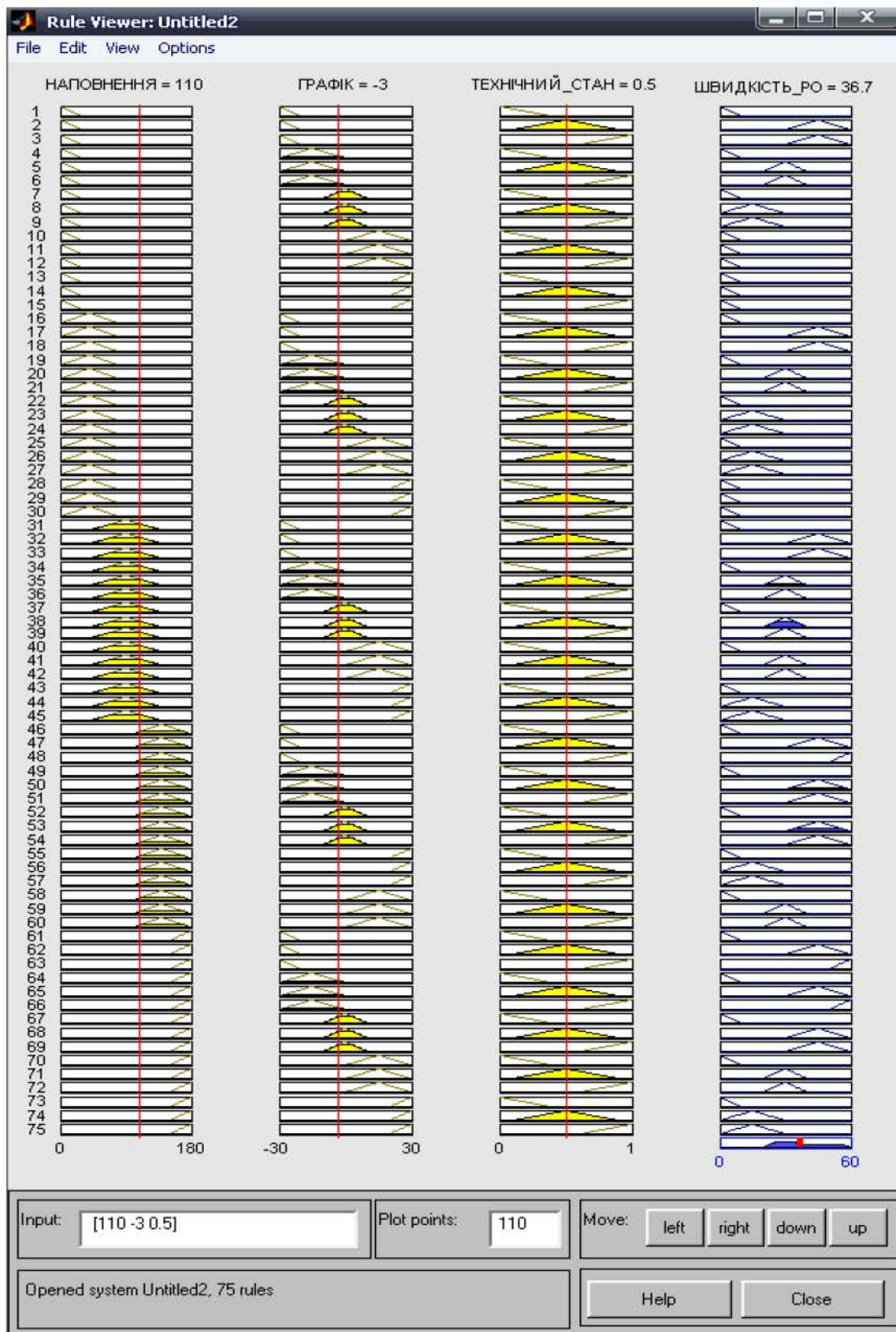


Рисунок 4.13 – Результат нечіткого висновку для поточної моделі

Розглянемо ситуацію, коли значення вхідних змінних, припустимо,

дорівнюють: наповнення рухомої 110 осіб, вона рухається з відставанням від графіку на 3 хвилини, її технічний стан задовільний. Управлінське рішення стосовно швидкості рухомої одиниці в побудованій моделі буде прийнято так, як показано на рисунку 4.13. В усіх задіяних термах вхідних змінних будуть зафарбовані деякі фігури з відповідними степенями приналежності. Терми вихідної змінної будуть зафарбовуватись в тому випадку, коли в деякому правилі виявляться присункутніми задіяні терми, розглянуті у цьому правилі, для всіх трьох вхідних змінних. У ситуації, що розглядається, задіяними виявились правила 35, 38, 50, 53. Відповідно до алгоритму Мамдані та методу центра ваги (методу центроїду) значення вихідної змінної «ШВИДКІСТЬ РО» дорівнює 36.7 км/год.

4.5 Висновки до розділу

1. Дається визначення ситуаційним динамічним системам з дискретними подіями. Представлено огляд основних методів їхнього аналізу. Викладено висновки про ефективність введення складних функціональних переходів у нечіткі мережі Петрі
2. При розробці системи розкриті поняття ситуаційної системи, проаналізовані основні етапи нечіткого висновку та виявлена сутність процесу регулювання швидкості. На основі чого створена нечітка модель системи.
3. Виходячи з аналізу існуючих систем АРШ та синтезу нової ситуаційної системи можна зробити висновок, що основними недоліками звичайних систем автоматичного управління відносно систем нечіткого висновку є: наявність складних математичних висновків при розрахунку швидкості руху, як слідство потреба у великих обчислювальних ресурсах, складність врахування усіх факторів при розробки математичної моделі, складність адаптації до змін логіки управління та багато інших.
4. Математичну модель системи регулювання швидкості розроблена за

допомогою обпилювальної техніки з викориснуванням інтегрованої середовища розробки MatLab пакету Fuzzy Logic ToolBox, що входить до її складу. Найбільш ефективний цей спосіб виявляється для складних нечітких моделей з більшим числом змінних і правил нечіткого висновку. У цьому випадку завдання змінних і функцій приналежності їх термів у графічному режимі, а також візуалізація правил дозволяють істотно зменшити трудомісткість розробки нечіткої моделі, знизити кількість можливих помилок і скоротити загальний час нечіткого моделювання.

5. Результати нечіткого моделювання та розробки синтезу системи можна застосовувати при створенні нечітких контролерів для ситуаційної системи керування.

5 Техніко-економічне обґрунтування проекту

5.1 Ефективність заходів, направлених на прискорення науково-технічного прогресу

АРМ інженера з графіку руху поїздів з застосуванням нечітких мереж призначений для полегшення роботи інженера-програміста. На екрані монітора відображається текстова і графічна інформація, яка вказує інженеру-програмісту на те, як реагує система на задані ним характеристики.

АРМ складається з:

- ЕОМ (монітор, системний блок, клавіатура, маніпулятор-миша);
- принтер.

АРМ проектується з урахуванням можливості цілодобової роботи. АРМ працює від мережі електроживлення напругою 220В і частотою 50Гц. ЕОМ встановлюється на робочому столі інженера-програміста.

Впровадження АРМ значно полегшує і прискорює роботу інженера, дозволяє йому заощаджувати свій робочий час, витрачаючи на виконання заданого об'єму роботи значно менше часу ніж раніше. Все це дозволяє економити електроенергію і розхідні матеріали.

5.2 Методика визначення економічного ефекту

Економічний ефект заходу з НТП визначається згідно з умовами викорискування продукції за розрахунковий період. Сукупний економічний ефект визначається як перевищення вартісної оцінки результатів над вартісною оцінкою сукупних витрат ресурсів за строк здійснення заходу НТП.

$$E_T = P_T - Z_T. \quad (5.1)$$

де E_T - економічний ефект заходу з НТП за розрахунковий період;

P_T -вартісна оцінка результатів від здійснення заходу з НТП за розрахунковий період;

Z_T -вартісна оцінка затрат на здійснення заходу з НТП за розрахунковий період.

Визначення економічного ефекту проводиться за умови обов'язкового приведення різнотермінових вартісних оцінок результатів і затрат до єдиного моменту часу - розрахункового року t_p .

Приведення різнотермінових результатів і затрат усіх років періоду реалізації заходу до розрахункового року, здійснюється множенням їх вартісної оцінки за кожний рік на коефіцієнт приведення (дисконтування) α_t :

$$\alpha_t = (1 + E_H)^{t_p - t} \quad (5.2)$$

де E_H - річний норматив приведення різнотермінових результатів і затрат до розрахункового року (норматив дисконтування) рівний 0,1 (10% на рік);

t_p - розрахунковий рік;

t - рік, результати і затрати якого приводяться до розрахункового року.

Вартісна оцінка результатів за розрахунковий період визначається за формулою:

$$P_T = \sum_{t=t_H}^{t_K} P_t \cdot \alpha_t \quad (5.3)$$

де P_t - вартісна оцінка результатів в t -ому році;

t_H – початковий рік розрахункового періоду;

t_K -кінцевий рік розрахункового періоду.

Початковим роком розрахункового періоду є рік початку фінансування робіт щодо здійснення заходів НТП (включаючи науково-дослідні, проектні,

конструкторські роботи) – 2022 рік. Кінцевим роком розрахункового періоду є 2026 рік.

Затрати при викориснуванні заходів НТП (Z_T) визначаються за формулою:

$$Z_T = \sum_{t=тн}^{тк} Z_t \cdot \alpha_t = \sum_{t=тн}^{тк} (I_t + K_t - L_t) \cdot \alpha_t, \quad (5.4)$$

де Z_t - затрати всіх ресурсів у t-ому році;

I_t - поточні затрати при викориснуванні заходів у t-ому році без урахувань амортизаційних відрахувань;

K_t - одноразові затрати при викориснуванні заходів (капітальні вкладення) у t-ому році;

L_t - залишкова вартість (ліквідаційне сальдо) основних фондів.

Якщо на кінець розрахункового періоду залишаються основні фонди, які можна викориснувати ще ряд років, то величина L_t визначається як залишкова вартість цих фондів.

Поточні витрати (I_t) на 2022 рік визначаються за формулою:

$$I_t = \Phi ЗП + C_M + C_{ел} + C_{ін} \quad (5.5)$$

де $\Phi ЗП$ – фонд заробітної плати інженера-програміста і нарахування;

C_M - затрати на матеріали та запасні частини;

$C_{ел}$ - затрати на електроенергію;

$C_{ін}$ - інші затрати.

$$\Phi ЗП = Z_{ін} \cdot 12 \cdot K, \quad (5.6)$$

де $Z_{ін}$ - посадовий оклад інженера-програміста;

К - коефіцієнт, що враховує додаткову заробітну плату, премії, відрахування на соціальне і пенсійне страхування. $K=1.6$.

Витрати на матеріали та електроенергію визначаються у відсотках від капітальних вкладень на розробку і впровадження АРМ (K_t):

$$C_M = 3\% \cdot K_t, \quad (5.7)$$

$$C_{ел} = 1.5\% \cdot K_t. \quad (5.8)$$

Інші витрати визначаються у відсотках від ФЗП:

$$C_{ін} = 5\% \cdot \text{ФЗП}. \quad (5.9)$$

Період повернення загальної суми одноразових витрат визначається як період, що починається з початкового року вкладання одноразових витрат до року, коли починає виконуватися така умова:

$$\sum K_t \cdot \alpha_t \leq \sum (P_t - I_t) \cdot \alpha_t \quad (5.10)$$

5.3 Розрахунок економічного ефекту

Для впровадження АРМ для моделювання інформаційно-керуючих систем з застосуванням нечітких мереж необхідні капітальні вкладення на придбання відповідного обладнання і ПЗ, які наведені у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Капітальні вкладення на придбання обладнання і ПЗ

Назва продукту	Ціна, грн.
1. Комп'ютер Celeron D331 2.66, RX200,256 МБ ОЗП, НЖМД 80Гб, Integrated, 52хCD-ROM	18000.00
2. Принтер струйний HP Desk Jet 5943	5000.00
3. Диски CD/RW 10 шт.	500.00
5. Програмне забезпечення: Windows 8	10000.00
Matlab 6.1	500.00
прикладне ПО	1000.00
Всього :	35000.00

Також до капітальних вкладень на розробку АРМ слід додати оплату праці розробника, яка за формулою 5.6 дорівнює (вважається, що розробка АРМ тривала 4 місяці):

$$\Phi ЗП = 30000 \cdot 4 \cdot 1.6 = 192000 \text{ грн.}$$

Загальні капітальні вкладення на розробку АРМ складають:

$$K_T = 35000 + \Phi ЗП = 35000 + 192000 = 227000 \text{ грн.}$$

Будемо вважати, що до впровадження АРМ моделювання інформаційно-керуючих систем здійснювалося інженером-програмістом на такому самому обладнанні, але з іншим програмним забезпеченням. Прийmemo що, $K_T = 35000$ грн, а $Z_{\text{шн}} = 8000$ грн.

Враховуючи ці данні розрахуємо необхідні величини за формулами 5.5-5.9:

$$\Phi ЗП = Z_{\text{шн}} \cdot 12 \cdot K = 8000 \cdot 12 \cdot 1.6 = 1536000 \text{ грн;}$$

$$C_M = 3\% \cdot K_T = 3\% \cdot 35000 = 1050 \text{ грн;}$$

$$C_{\text{ел}}=1.5\% \cdot K_T=1.5\% \cdot 35000=525 \text{ грн};$$

$$C_{\text{ін}}=5\% \cdot \PhiЗП=5\% \cdot 1536000=7680 \text{ грн};$$

$$I_T=\PhiЗП+C_M+C_{\text{ел}}+C_{\text{ін}}=1536000+1050+525+7680=1545255 \text{ грн.}$$

Поточні витрати (I_t) після введення в експлуатацію АРМ відрізняються від попередніх, тому що інженер-програміст витрачає на той самий об'єм роботи набагато менше часу і зусиль, в зв'язку з цим, його місячна ставка зменшується до 25000 грн.

$$\PhiЗП=3_{\text{шн}} \cdot 12 \cdot K=25000 \cdot 12 \cdot 1.6=480000 \text{ грн};$$

$$C_{\text{ін}}=5\% \cdot \PhiЗП=5\% \cdot 480000=24000 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію також зменшується і становить, за даними експертних оцінок, 0.5% від капітальних вкладень на розробку і впровадження АРМ ($K_t=67000$ грн):

$$C_{\text{ел}}=0.5\% \cdot K_t=0.5\% \cdot 227000=11350 \text{ грн};$$

$$C_M=3\% \cdot K_t=3\% \cdot 227000=6810 \text{ грн};$$

$$I_t=\PhiЗП+C_M+C_{\text{ел}}+C_{\text{ін}}=480000+6810+11350+24000=522160 \text{ грн.}$$

Порівнявши значення витрат $I_T=1545255$ грн. і $I_t=522160$ грн. можна зробити висновок, що кращим є варіант впровадження АРМ, тому що при рівних капітальних вкладеннях від потребує менше поточних витрат на досягнення результату.

Економія поточних витрат від створення і впровадження в роботу АРМ ДИ визначається за формулою:

$$\Delta I=I_T-I_t, \quad (5.11)$$

де I_T – поточні витрати до провадження АРМ;

I_t – поточні витрати після створення і впровадження АРМ у роботу.

Розрахунок інтегрального економічного ефекту від викориснування засобів зведений в таблицю 5.2.

Приріст економічного ефекту з урахуванням часу ΔE визначається за

формулою:

$$\Delta E = \Delta I \cdot \alpha_t, \quad (5.12)$$

де ΔI - економія поточних витрат від створення і впровадження в роботу АРМ;

α_t - коефіцієнт приведення (дисконтування).

В останньому стовпчику таблиці визначається наростаючий підсумок приросту економічного ефекту E .

Впровадження АРМ буде вважатися економічно вигідним тоді, коли буде виконуватися наступна умова:

$$\Delta E > K_t, \quad (5.13)$$

де ΔE - приріст економічного ефекту;

K_t - капітальних вкладень на розробку і впровадження АРМ.

За результатами розрахунків видно, що вже після першого року експлуатації АРМ величина приросту економічного ефекту дорівнює величині капітальних вкладень. Тобто, всі витрати на створення АРМ, закупку нового обладнання і впровадження його в роботу будуть повернуті вже після першого року його роботи. Після другого року буде виконуватися умова $\Delta E > K_t$, що свідчить про доцільність створення і впровадження АРМ.

Таблиця 5.2 - Розрахунок інтегрального економічного ефекту, грн

Поточний рік	Витрати				Коефіцієнт приведення α_t	Приріст економічного ефекту	
	Капітальні K_t	Поточні				З урахуванням часу ΔE	Наростаючий підсумок E
		I_T	I_t	ΔI			
2022	67000	1545255	522160	1023095	1	1023095	1023095
2023	0	1545255	522160	1023095	0.87	890092,65	1913187,65
2024	0	1545255	522160	1023095	0.756	773459,82	2686647,47
2025	0	1545255	522160	1023095	0.658	673196,51	3359843,98
2026	0	1545255	522160	1023095	0.572	585210,34	3945054,32

5.4 Висновки до розділу

У цьому розділі дипломного проекту наведена методика розрахунку економічного ефекту від впровадження заходу НТП. Також були розраховані капітальні вкладення, які необхідні для створення і впровадження АРМ для моделювання інформаційно-керуючих систем з застосуванням нечітких мереж.

Після проведення відповідних розрахунків була доведена економічна ефективність впровадження АРМ і визначений наростаючий підсумок приросту економічного ефекту від його впровадження, який на 5-му році складе 3945054,32 грн.

Список використаних джерел

1. Киселёв И.П, Краткий обзор истории высокоскоростных поездов в Японии. Часть 2 [Электронный ресурс] / И.П. Киселёв – Режим доступа: Железные дороги мира <https://zdmira.com/archive/2005/08> (Дата обращения: 01.03.2022)
2. Киселёв И.П, Краткий обзор истории высокоскоростных поездов в Японии. Часть 3 [Электронный ресурс] / И.П. Киселёв – Режим доступа: Железные дороги мира. – <https://zdmira.com/archive/2005/09> (Дата обращения: 01.03.2022)
3. Киселёв И.П, Краткий обзор истории европейских высокоскоростных поездов. Часть 1 К итогам конгресса EurailSpeed 2005 [Электронный ресурс] / И.П. Киселёв – Режим доступа: Железные дороги мира. – <https://zdmira.com/archive/2005/12> (Дата обращения: 01.03.2022)
4. Киселёв И.П Краткий обзор истории европейских высокоскоростных поездов. Часть 2 [Электронный ресурс] / И.П. Киселёв – Режим доступа: Железные дороги мира. – , 2006, № 1 - <https://zdmira.com/archive/2006/01> (Дата обращения: 01.03.2022)
5. Гетьман Г. К. Теория электрической тяги: Монография: в 2 т. [Электронный ресурс] /Г.К. Гетьман. – Д.: Издво Днепропетр. нац. ун-та железн. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2010. – Т. 2. – 361 с.Режим доступа:<http://eadnurt.diit.edu.ua/bitstream/123456789/11981/1/Getman.pdf> (Дата обращения: 01.03.2022)
6. Каргин А.А. Об использовании нечетких моделей знаний в задачах управления движением поездов. Ч.2. Структурированные декларативные и процедурные знания в производственных системах / А.А. Каргин, Б.Т. Сытник // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. 1997. №1. С.40-44.
7. Сытник Б.Т. Реализация нейронечетких моделей и регуляторов гарантированной точности /В.А. Брыксин, В.С. Михайленко, Б.Т.Сытник,

С.И.Яцько // Науково-технічний журнал "Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті". – 2011. – №. 4, – с.24-28

8. B. Sytnik. CONSTRUCTION OF AN ANALYTICAL METHOD FOR LIMITING THE COMPLEXITY OF NEURAL-FUZZY MODELS WITH GUARANTEED ACCURACY/B. Sytnik, V. Bryksin, S. Yatsko, Y. Vashchenko [Электронный ресурс] // Международный наукометрический научный журнал "Восточно-Европейский журнал передовых технологий", ISSN 1729-4061 (Online), ISSN 1729-3774. - VOL 2,NO4(98)(2019),-p.8-13.-Режим

доступу:http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2019_2%284%29_2 (Дата обращения: 01.03.2022)

9. Ліпчанський М.В. Моделювання, оптимізація та контроль систем керування рухомого складу приміського сполучення: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.13.07 [Електронний ресурс] /М.В.Ліпчанський;Нац.техн.ун-т"Харк.політехн.ін-т".- 2008.-20с.-укр Режим доступу: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe (Дата обращения: 01.03.2022)

10. Ильинский Н.Ф. Перспективы развития регулируемого электропривода/Н.Ф. Ильинский. //Электричество, 2003, №2, – с.2-7

11. Коваленко Н.А., Батурин А.П., Морозов В.Н. Автоматизированная система ведения и анализа графика исполненного движения (ГИД Урал-ВНИИЖТ) [Электронный ресурс]/ Коваленко Н.А., Батурин А.П., Морозов В.Н Учебное пособие. М.: МГУПС (МИИТ), 2015. - 66с. Режимы доступа: <https://docplayer.com/29582816> (Дата обращения: 01.03.2022)

12. Сытник Б.Т. Адаптивное управление в дискретных системах высокого порядка с запаздыванием. Часть 1. Оптимизация на основе критерия гарантированной степени устойчивости/Б.Т. Сытник, В.Б. Сытник, В.А. Брыксин, В.С. Михайленко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: 2011. – №2. – С.3– 8.

13. Сытник Б.Т. Адаптивное управление в дискретных системах высокого порядка с запаздыванием. Часть 2. Моделирование цифровой системы третьего

порядка с запаздыванием с использованием критерия гарантированной степени устойчивости/Б.Т. Сытник, В.Б. Сытник, В.А. Брыксин, В.С. Михайленко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: 2011. – №3. – С.14–19.

14. Сытник Б.Т. Адаптивное управление в дискретных системах высокого порядка с запаздыванием. Часть 3. Синтез адаптивного частотно-импульсного ПИ-регулятора с оптимизацией параметров настройки на основе критерия гарантированной степени устойчивости/Б.Т. Сытник, С.И. Яцько, В.А. Брыксин, В.С. Михайленко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: 2012. – №. 1. – С. 71–79.

15. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року : [Електронний ресурс]: [схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України № 430-р від 30 травня 2018р.].Режим доступу: [:https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/pro-shvalennya-nacionalnoyi-transportnoyi-strategiyi-ukrayini-na-period-do-2030-roku](https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/pro-shvalennya-nacionalnoyi-transportnoyi-strategiyi-ukrayini-na-period-do-2030-roku). (Дата звернення: 01.03.2022)

16. Брыксин В. О. Моделі та методи автоматизованого керування рухом поїзда на основі адаптивної корекції швидкості [Електронний ресурс] : автореф. дис. канд. техн. наук : спец. 05.13.03 / Володимир Олександрович Брыксин ; [наук. керівник Порошин С. М.] ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн.ін-т".– Харків,2016.– 20 с. – Бібліогр.: – с.16-18. – укр. [avtoreferat 2016 Bryksin Modeli ta metody.pdf](http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/20137). Режим доступу : <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/20137> (Дата звернення: 01.03.2022)

17. Прохорченко Г. О. Розробка процедури автоматизованої побудови графіка руху поїздів на залізничному напрямку [Електронний ресурс] / Г. О. Прохорченко, Р. І. Семененко .// [Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpudazt_2016_165_6). - 2016. - Вип. 165. - С. 26-34. . Режим доступу :http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpudazt_2016_165_6 (Дата звернення: 01.03.2022)

18. Бутко Т. В. _Формування процедури автоматизації розробки графіку руху поїздів на основі алгоритму штучних бджолиних колоній. Транспортні системи та технології перевезень [Електронний ресурс]: [Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.](#) 2015. Вип. 9. С. 10-15. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpdnu_tstp_2015_9_4 (Дата звернення: 01.03.2022)
19. Логвінова Н. О. Оптимізація ходової швидкості руху вантажних поїздів на залізничному напрямку в умовах енергооптимального графіку руху поїздів [Електронний ресурс] / Н. О. Логвінова // [Електрифікація транспорту.](#) - 2015. - № 9. - С. 102-107. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eltr_2015_9_15 (Дата звернення: 01.03.2022)
20. Овчаренко С. М. Розвиток системи аналізу графіка виконаного руху пасажирських та приміських поїздів в ПАТ "Укрзалізниця" [Електронний ресурс] / С. М. Овчаренко, Т. О. Стегній, Л. В. Василькова, О. О. Овчаренко // [Залізничний транспорт України.](#) - 2017. - № 2. - С. 21-24. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU_2017_2_6 (Дата звернення: 01.03.2022)
21. Butko T. Development of the method for modeling the propagation of delays in non-cyclic train scheduling on the railroads with mixed traffic [Електронний ресурс] / Т. Butko, А. Prokhorchenko, Т. Golovko, G. Prokhorchenko // [Восточно-Европейский журнал передовых технологий.](#) - 2018. - № 1(3). - С. 30-39. . Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2018_1\(3\)_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2018_1(3)_5) (Дата звернення: 01.03.2022)
22. Butko T. Forming an automated technology to manage freight transportation along a direction [Електронний ресурс] / Т. Butko, О. Kostiennikov, L. Parkhomenko, V. Prokhorov, G. Bogomazova // [Восточно-Европейский журнал передовых технологий.](#) - 2019. - № 1(3). - С. 6-13. . Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2019_1\(3\)_2](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2019_1(3)_2). (Дата звернення: 01.03.2022)
23. Новий графік руху пасажирських поїздів УЗ на 2022 рік - ЛПА.Бізнес 07.10.2021. [Електронний ресурс] Режим доступу:

<https://biz.liga.net/ua/all/transport/novosti/uz-sostavila-grafik-dvijeniya-na-2022-god-izmenyat-58-marshrutov-dobavyat-18-novyh-poezdov> (Дата звернення: 01.03.2022)

24. Бондарев В.Н., Аде Ф.Г. Искусственный интеллект: Учеб. Пособие для вузов. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2002. – 615 с., ил.
25. Алиев Р.А., Церковный А.Э., Мамедова Г.А., Управление производством при нечеткой исходной информации. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 240 с., ил.
26. Котов В.Е. Сети Петрі. – М.: Наука, 1984. – 160 с.
27. Леоненков А. В. Нечёткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ – Петербург, 2003. – 736 с.: ил.
28. Питерсон Дж. Теория сетей Петрі и моделирование систем. – М.: Мир, 1984. – 235с.
29. Ситнік Б. Т. Моделі і методи створення систем реалізації графіків руху високошвидкісних поїздів з адаптивною корекцією швидкості за фактичними параметрами проїзду. Частина 1. Структура автоматичної системи нечіткого задання графіка швидкості руху рухомого об'єкта з її корекцією за фактичними параметрами проїзду/Ситнік Б. Т., Бриксін В. О., Ломотько Д. В., Ситник В. В., Давидов І. В.//Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: 2021. – №4. – С.24–35.
- 30 Ситнік Б.Т, Бриксін В.О.,Ситник В.В. Моделювання об'єктів інтелектуалізації/Сытник Б.Т., Брыксин В.А., Ломотько Д.В., Сытник В.В.//Тезисы докладов 33 Международной конференции "Внедрение перспективных микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и средств телекоммуникаций на базе цифровизации ", Научно-технічний журнал "Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті". – 2020. – №3 (Додаток).– с. 23-24
- 31 Сытник Б.Т. Структура автоматической системы нечеткого задания графика скорости движения подвижного объекта с ее коррекцией по фактическим параметрам проезда/Сытник Б.Т., Брыксин В.А., Ломотько Д.В., Сытник В.В., Давыдов И.В.//Тезисы докладов 34 Международной конференции "Внедрение

перспективных микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и средств телекоммуникаций на базе цифровизации", Науково-технічний журнал "Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті". – 2021. – №3 (Додаток). – с.38-40