

МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра автоматизованих систем електричного транспорту

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ КЕРУВАННЯ РЕГУЛЯТОРІВ
ЧАСУ ХОДУ СИСТЕМ АВТОВЕДЕННЯ ПОЇЗДІВ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до виконання лабораторної роботи
з дисципліни**

«ГАЛЬМОВІ СИСТЕМИ ЕРС»

Харків – 2016

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри автоматизованих систем електричного транспорту 11 січня 2016 р., протокол № 5.

Рекомендується для бакалаврів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної та заочної форм навчання.

Укладач

старш. викл. В.П. Нерубацький

Рецензент

проф. А.С. Крашенінін

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ КЕРУВАННЯ РЕГУЛЯТОРІВ ЧАСУ
ХОДУ СИСТЕМ АВТОВЕДЕННЯ ПОЇЗДІВ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи
з дисципліни
«ГАЛЬМОВІ СИСТЕМИ ЕРС»

Відповідальний за випуск Нерубацький В.П.

Редактор Решетилова В.В.

Підписано до друку 16.03.16 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк. арк. 1,25. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра автоматизованих систем електричного транспорту

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ КЕРУВАННЯ РЕГУЛЯТОРІВ
ЧАСУ ХОДУ СИСТЕМ АВТОВЕДЕННЯ ПОЇЗДІВ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторної роботи**

з дисципліни
«ГАЛЬМОВІ СИСТЕМИ ЕРС»

Харків 2016

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри автоматизованих систем електричного транспорту 11 січня 2016 р., протокол № 5.

Рекомендується для бакалаврів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної та заочної форм навчання.

Укладач

старш. викл. В.П. Нерубацький

Рецензент

проф. А.С. Крашенінін

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Мета роботи.....	4
2 Опис об'єкта моделювання.....	5
3 Режими ведення поїздів метрополітену.....	8
4 Моделювання руху поїзда.....	10
5 Позначення змінних, прийняті у програмі моделювання руху поїзда.....	16
6 Порядок виконання лабораторної роботи.....	20
7 Інструкція для роботи з програмою.....	21
7.1 Введення параметрів перегону.....	22
7.2 Введення параметрів руху.....	23
7.3 Розрахунок траєкторій.....	23
7.4 Перегляд розрахованих траєкторій.....	23
7.5 Завершення роботи.....	24
Питання до захисту лабораторної роботи.....	25
Список літератури.....	26
Додаток А Варіанти завдання до виконання лабораторної роботи.....	27

ВСТУП

Математичне моделювання є потужним засобом, який використовують при аналізі та синтезі різних систем керування [1]. Математичні моделі бувають аналітичними і імітаційними. Для більшості систем керування імітаційне моделювання є єдиним методом аналізу.

Моделювання використовується на різних етапах створення систем керування:

- на етапі дослідження різних варіантів системи;
- на етапі розробки алгоритмів керування;
- при налагодженні алгоритмів керування;
- при лабораторних випробуваннях системи;
- при виборі параметрів системи;
- після впровадження, для оцінки ефективності та аналізу результатів натурних випробувань;
- при експлуатації, для розрахунку параметрів законів керування.

Імітаційне моделювання – це складний процес, що складається з ряду етапів. Дана лабораторна робота присвячена вивченню принципів імітаційного моделювання на прикладі моделі руху поїзда метрополітену.

1 МЕТА РОБОТИ

Метою лабораторної роботи є опанування навичок імітаційного моделювання на прикладі моделі руху поїзда метрополітену, включаючи: вивчення об'єкта моделювання, вивчення моделі руху поїзда, дослідження методів чисельного вирішення рівняння руху поїзда, моделювання руху поїзда на перегонах з одним і двома ввімкненнями тягових двигунів, вибір режимів ведення поїзда, дослідження впливу збурень на процес ведення поїзда [2].

2 ОПИС ОБ'ЄКТА МОДЕЛЮВАННЯ

Вагони метрополітену мають по чотири двигуни і обладнані системою автоматичного реостатного пуску. На рисунку 2.1 показані тягові характеристики двигуна, тобто залежності сили тяги двигуна F_{∂} від швидкості поїзда V .

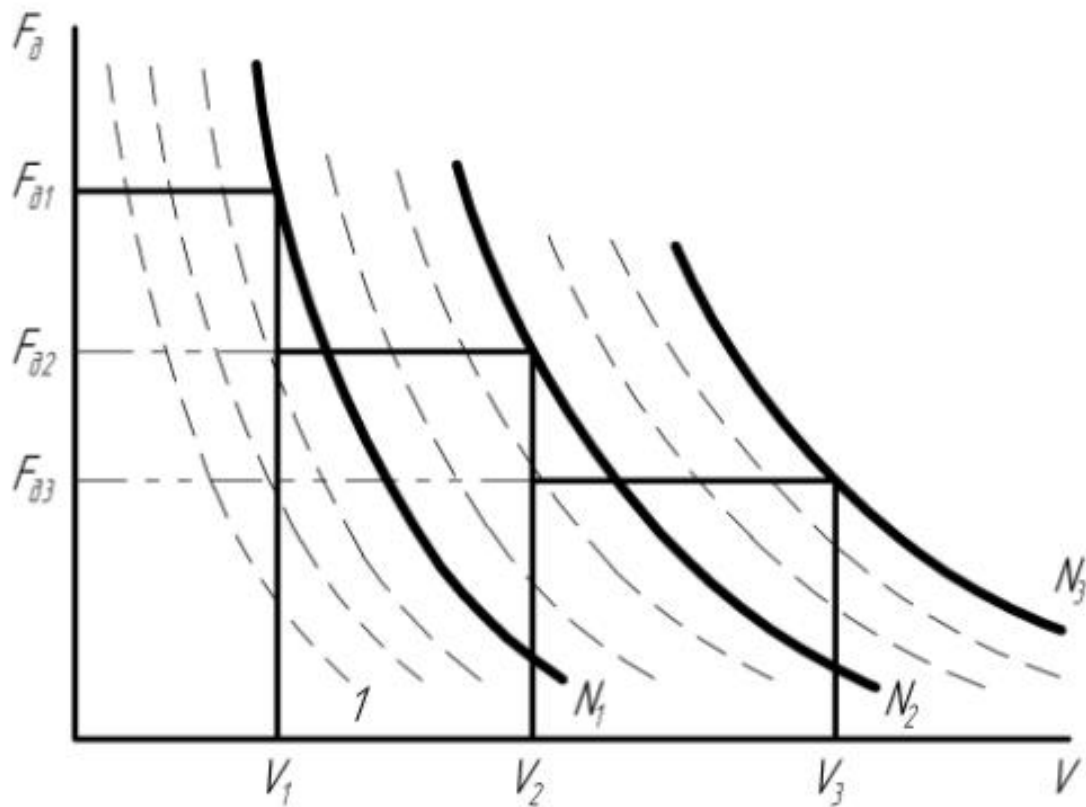


Рисунок 2.1 – Тягові характеристики двигуна

На позиціях керування від I до N_1 двигуни на вагоні з'єднані послідовно, від позиції N_1 до N_2 двигуни з'єднані послідовно-паралельно. З позиції N_2 до N_3 використовуються позиції ослаблення магнітного потоку двигуна.

З метою спрощення моделі поїзда приймаємо такі допущення:

- від початку руху до швидкості V_1 сила тяги двигуна постійна і дорівнює $F_{\partial 1}$;

- від швидкості V_1 до V_2 сила тяги двигуна постійна і дорівнює $F_{\partial 2}$;

- від швидкості V_2 до V_3 сила тяги двигуна постійна і дорівнює $F_{\partial 3}$;

- від швидкості $V > V_2$ сила тяги розраховується за характеристикою $F_{\partial}(V)$ на останній позиції керування N_3 . Залежністю $F_{\partial}(V)$ можна користуватися в моделях руху поїзда за умови постійного рівня напруги на струмоприймачі. В дійсності напруга на струмоприймачі вагона метрополітену змінюється до 10 %. Тому в моделі використовується метод розрахунку за електромеханічними характеристиками двигуна $F_{\partial}(I_{\partial})$, залежності сили тяги F_{∂} двигуна від струму двигуна I_{∂} і залежності магнітного потоку двигуна від його струму $C\Phi(I_{\partial})$, на які практично не впливає зміна напруги на двигуні. Магнітний потік двигуна визначається шляхом перерахунку характеристики $V(I_{\partial})$ за формулою

$$C\Phi(I_{\partial}) = \frac{U_p - R_{\partial} \cdot I_{\partial}}{V}, \quad (2.1)$$

де U_p – розрахункова номінальна напруга на двигуні;

R_{∂} – опір двигуна;

V – швидкість руху.

Характеристики двигуна $C\Phi(I_{\partial})$ і $F_{\partial}(I_{\partial})$ кусково-лінійно апроксимуються

$$C\Phi = a_{0z} + a_{1z} \cdot I_{\partial}, \quad (2.2)$$

$$F_{\partial} = b_{0z} + b_{1z} \cdot I_{\partial}, \quad (2.3)$$

де a_{0z} , a_{1z} , b_{0z} , b_{1z} – коефіцієнти апроксимації z -го куска характеристики.

Під час руху до поїзда прикладені сила тяги F , сила гальмування B , сила опору руху W . Сили $f = \frac{F}{m}$, $b = \frac{B}{m}$, $w = \frac{W}{m}$ називаються питомими силами, де m – маса поїзда.

Питома сила опору руху дорівнює

$$w = w_o + w_\partial, \quad (2.4)$$

де w_o – основний питомий опір руху поїзда, який зумовлений тертям в підшипниках, опором, що виникає при взаємодії рухомого складу і колії, опором повітряного середовища;

w_∂ – додатковий опір руху, який визначається опором від ухилів і кривих.

У більшості випадків w_o розраховують за емпіричними формулами у вигляді полінома

$$w_o = a + b \cdot V + c \cdot V^2, \quad (2.5)$$

де коефіцієнти a , b , c задаються для кожного типу рухомого складу.

Основний опір руху поїзда для поїздів метрополітену визначається за більш точними формулами [3].

Основний питомий опір руху поїзда в режимі тяги визначається за такою формулою:

$$w_{oT} = 1,1 + 0,0092 \cdot \frac{S_{en}}{2 \cdot (m_g + m_n) \cdot n_g} \cdot V^2, \quad (2.6)$$

де m_g – маса тари вагона, яка приймається рівною 33,5 т;

m_n – маса завантаження пасажирями вагона;

n_g – число вагонів у поїзді, приймаємо рівним 7;

S_{en} – площа еквівалентної поверхні складу. S_{en} для складу з семи вагонів дорівнює 47 м².

Основний питомий опір руху поїзда в режимі вибігу (холостий хід) визначається за такою формулою:

$$w_{ox} = 1 + \frac{26}{2 \cdot (m_e + m_n)} + 0,601 \cdot V + 0,0092 \cdot \frac{S_{en}}{2 \cdot (m_e + m_n) \cdot n_e}. \quad (2.7)$$

Додатковий питомий опір руху поїзда дорівнює сумі опорів від ухилу w_y і кривих $w_{кр}$

$$w_{\partial} = w_y + w_{кр}. \quad (2.8)$$

Питомий опір від ухилу дорівнює величині ухилу i

$$w_y = i. \quad (2.9)$$

Опір від кривих дорівнює

$$w_{кр} = \frac{630}{R_{кр}}, \quad (2.10)$$

де $R_{кр}$ – радіус кривої.

3 РЕЖИМИ ВЕДЕННЯ ПОЇЗДІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ

В даний час на вітчизняних метрополітенах використовуються два способи ведення поїздів. На більшості перегонів використовується спосіб ведення поїзда з одним увімкненням тягових двигунів (рисунок 3.1). Перегоном називається відстань від попередньої станції до наступної станції.

На рисунку 3.1 показані траєкторія руху поїзда $V(S)$ – крива 1 і режими ведення поїзда – крива 2.

На рисунку приймаємо таке умовне позначення режимів ведення поїзда: $R=1$ – тяга (рух поїзда з увімкненими тяговими двигунами); $R=0$ – вибіг (рух поїзда з вимкненими тяговими двигунами); $R=-1$ – прицільне гальмування на станціях. Вибір

моменту вимкнення тягових двигунів $S_{\text{вимкн}}$, тобто пройдений шлях в режимі тяги S_T , залежить від заданого часу ходу по перегону T_x^3 .

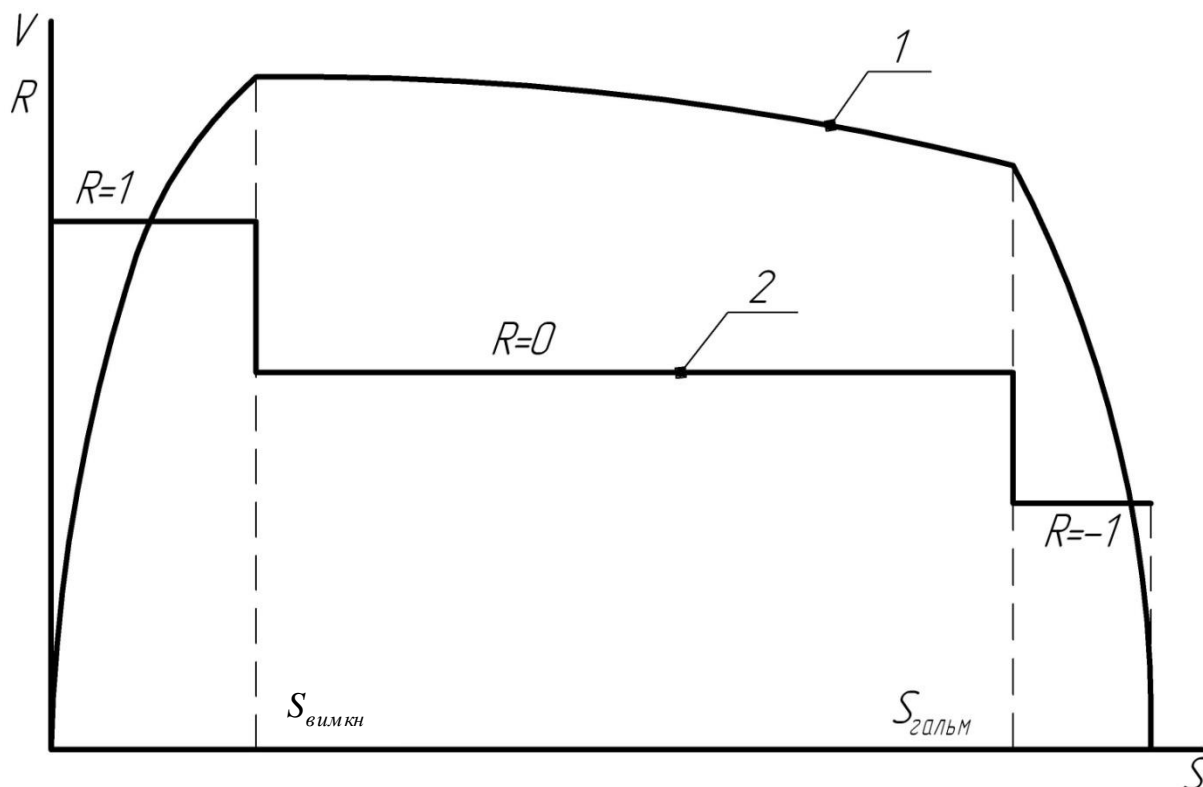


Рисунок 3.1 – Траєкторії руху поїзда на перегоні з одним увімкненням тягових двигунів

На довгих перегонах і перегонах з великими підйомами проводиться два рази увімкнення тягових двигунів (рисунок 3.2).

Вибором координат першого вимкнення тягових двигунів $S_{\text{вимкн1}}$, другого увімкнення тягових двигунів $S_{\text{увімкн2}}$ і другого ввімкнення тягових двигунів $S_{\text{вимкн2}}$ виконується керування часом ходу по перегону T_x . Часом ходу по перегону називається час ходу від початку перегону до кінця перегону.

Керування рухом поїзда на перегонах з двома увімкненнями тягових двигунів складніше, ніж на перегонах з одним увімкненням.

На довгих перегонах, наприклад, у приміському сполученні можливі три увімкнення тягових двигунів на перегоні.

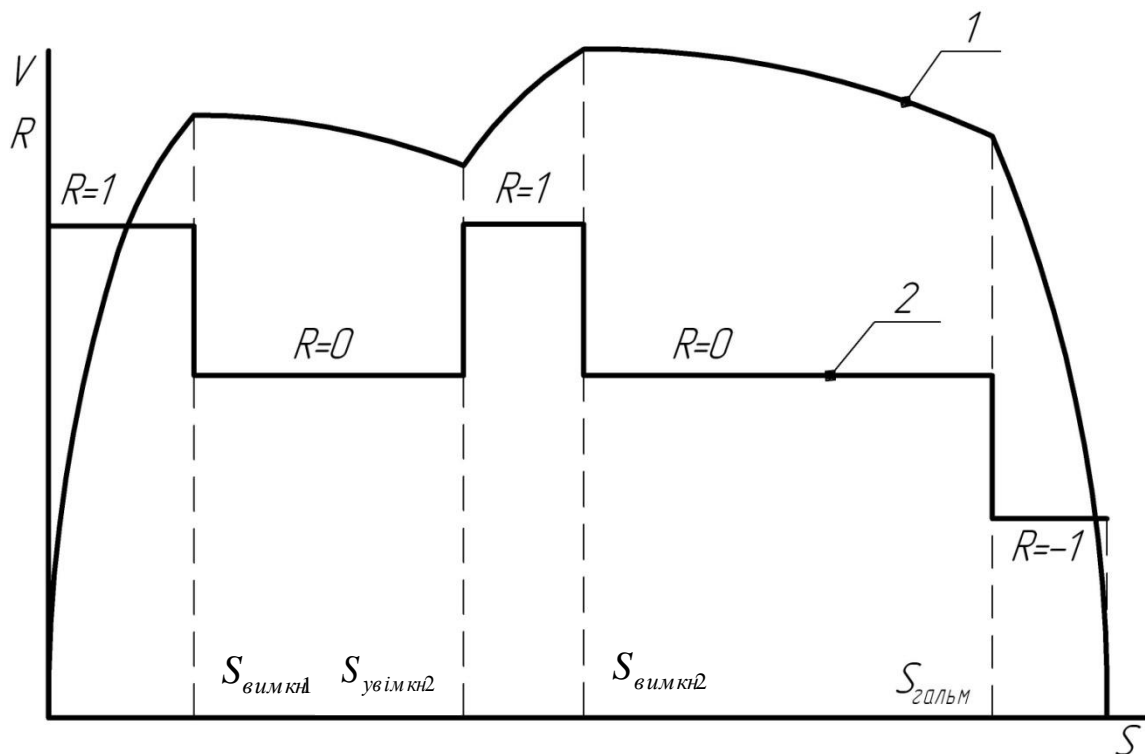


Рисунок 3.2 – Траєкторії руху поїзда на перегоні з двома ввімкненнями тягових двигунів

4 МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ПОЇЗДА

Для моделювання руху поїзда використовується рівняння руху поїзда, яке пов'язує між собою швидкість V , шлях S і час T в диференціальній формі. Інтегрування рівняння руху поїзда можливо по шляху, часу або швидкості. У моделі руху поїзда, що розглядається, при розрахунку траєкторій руху за незалежну змінну приймаємо шлях S .

$$\frac{dV}{dS} = \frac{K}{V} \cdot \left(\frac{F}{m_g + m_n} - w_o - w_\delta - \frac{B}{m_g + m_n} \right), \quad (4.1)$$

де F – сила тяги вагона, рівна $4 \cdot F_{\bar{a}}$;

m_g – маса вагона;

m_n – маса завантаження пасажирами вагона;

B – сила гальмування вагона;

K – коефіцієнт, що враховує розмірність.

Сила тяги двигуна визначається за кусково-лінійно апроксимованими характеристиками двигуна (2.3). Перед цим обчислюється струм двигуна I_δ шляхом вирішення системи рівнянь (2.1) і (2.2):

$$I_\delta = \frac{U/2 - a_{0z} \cdot V}{a_{1z} \cdot V + R_\delta}, \quad (4.2)$$

де U – задана (фактична) напруга на струмоприймачі вагона.

Рівняння руху поїзда може вирішуватися різними чисельними методами. У розглянутій моделі для вирішення рівняння руху поїзда використовуємо метод Ейлера.

Вирішуючи рівняння руху поїзда (4.1), швидкість поїзда на кожному кроці інтегрування визначаємо за такою формулою:

$$V_j = \frac{(K \cdot (f - w_o - i - w_{кр} - b) \cdot \Delta S)}{V_{j-1}} + V_{j-1}, \quad (4.3)$$

де V_j – швидкість поїзда на j -му кроці інтегрування;

V_{j-1} – швидкість поїзда на $(j-1)$ -му кроці інтегрування;

ΔS – крок інтегрування по шляху.

Від величини кроку інтегрування ΔS залежить час розрахунку і точність моделювання. Зі зменшенням кроку інтегрування збільшується точність і час розрахунку. Крок інтегрування в режимі вибігу можна брати більше, ніж в режимі тяги. Крок інтегрування в режимі тяги слід приймати в діапазоні $1 \div 5$ м, в режимі вибігу – $1 \div 10$ м.

Пройдений шлях визначається так:

$$S_j = S_{j-1} + \Delta S, \quad (4.4)$$

де S_j , S_{j-1} – пройдений поїздом шлях відповідно до кінця j -го і $(j-1)$ -го кроків інтегрування.

При моделюванні руху поїзд вважається як матеріальна точка з масою, зосередженою в центрі поїзда.

Час руху поїзда обчислюється з урахуванням середньої швидкості руху на кроці інтегрування $V_{сер}$

$$T_j = T_{j-1} + \Delta T_j = T_{j-1} + \frac{\Delta S}{V_{сер}} = T_{j-1} + \frac{\Delta S}{0,5 \cdot (V_j + V_{j-1})}. \quad (4.5)$$

де T_j , T_{j-1} – час ходу поїзда від початку руху до кінця відповідного j -го і $(j-1)$ -го кроків інтегрування;

ΔT_j – час ходу на j -му кроці інтегрування.

Витрата електроенергії вагона на тягу поїзда обчислюється за формулою

$$A_j = A_{j-1} + 2 \cdot U \cdot I_{\partial j} \cdot \Delta T_j, \quad (4.6)$$

де $I_{\partial j}$ – струм двигуна на j -му кроці інтегрування.

Чотири двигуни вагона на останній ходовій позиції керування з'єднані послідовно-паралельно.

Моделювання руху поїзда в режимі тяги і вибігу здійснюється шляхом вирішення рівняння руху поїзда (4.1). В режимі тяги $F > 0$, $B = 0$; в режимі вибігу $F = 0$, $B = 0$. В режимі гальмування траєкторія руху поїзда розраховується за умови руху поїзда за рівносповільненим законом. Початок гальмування при зупинці поїзда на станції визначається за умови

$$V \geq V_n = \sqrt{2 \cdot a_1 \cdot S_{зал}}, \quad (4.7)$$

де a_1 – задане уповільнення поїзда в режимі прицільного гальмування при зупинці на станції;

V_n – швидкість поїзда на початку гальмування;

$S_{зал}$ – шлях, що залишився до кінця перегону, який дорівнює

$$S_{зал} = S_n - S, \quad (4.8)$$

де S_n – довжина перегону;

S – поточна координата поїзда.

Час руху в режимі гальмування дорівнюватиме

$$T_z = \frac{V_n}{a_1}. \quad (4.9)$$

Крім гальмування для зупинки поїзда на станціях, на деяких перегонах застосовується гальмування для зниження швидкості перед обмеженнями швидкості.

На рисунку 4.1 подано картину допустимих швидкостей на перегоні, де $V_{\partial 1} \div V_{\partial 5}$ – рівні допустимих швидкостей, $S_1 \div S_5$ – координати зміни рівнів допустимих швидкостей. Для зниження швидкості поїзда до $V_{\partial 3}$ застосовується пригальмовування.

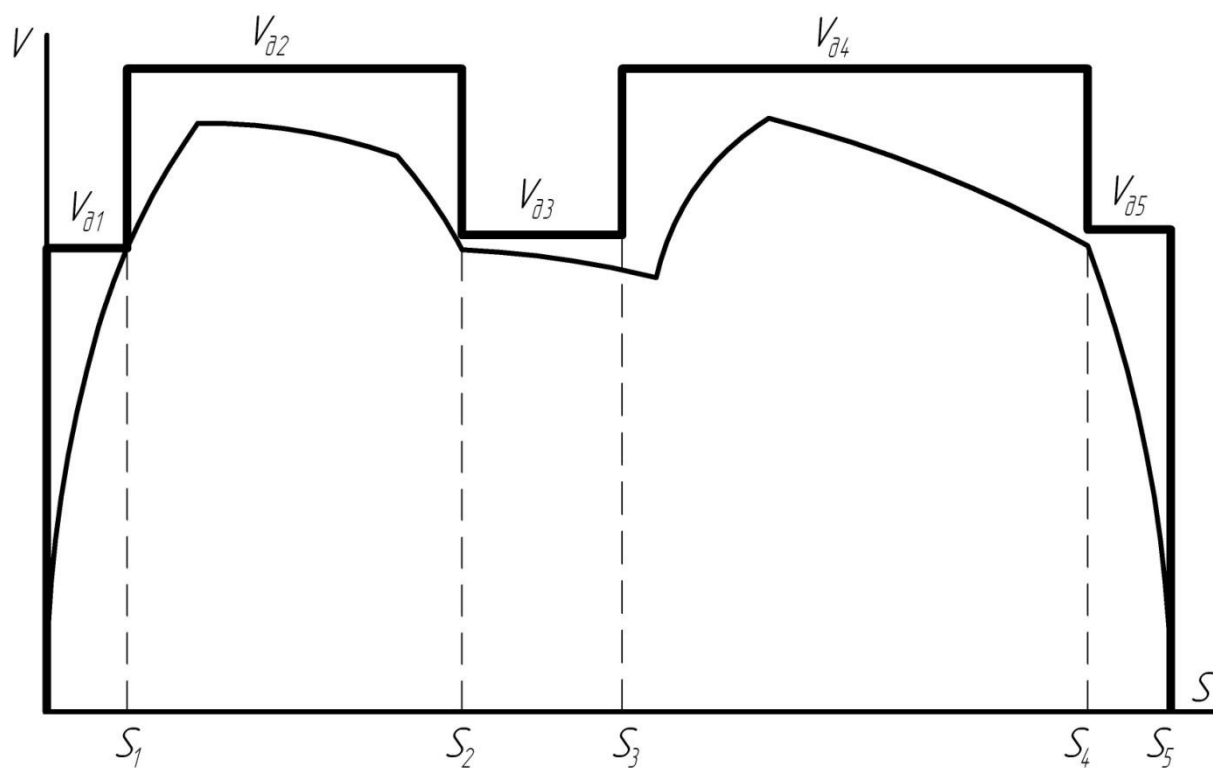


Рисунок 4.1 – Допустимі швидкості на перегоні

Швидкість початку гальмування при обмеженнях швидкості дорівнює

$$V_n = \sqrt{2 \cdot a_2 \cdot S_{зал} + V_o^2}, \quad (4.10)$$

де a_2 – уповільнення поїзда при пригальмовуванні перед обмеженнями швидкості;

$S_{зал}$ – шлях, що залишився до обмеження швидкості;

V_o – швидкість обмеження, для прикладу на рисунку 4.1, дорівнює $V_{\partial 3}$.

Час руху поїзда в режимі пригальмовування перед обмеженням швидкості дорівнює:

$$T_z = \frac{V_n - V_o}{a_2}, \quad (4.11)$$

Модель дозволяє розраховувати траєкторії руху поїзда для перегонів з одним і двома увімкненнями тягових двигунів.

Для перегонів з одним увімкненням тягових двигунів розраховуються п'ять траєкторій руху для заданих часів ходу по перегону $T_{x1}^3, T_{x2}^3, T_{x3}^3, T_{x4}^3, T_{x5}^3$ кратних 5 с. Перша траєкторія руху поїзда розраховується для мінімального часу ходу T_{xmin} , коли відключення тягових двигунів виконується в момент, коли швидкість поїзда досягає допустимої швидкості V_{∂} (рисунок 4.2).

Якщо T_{xmin} не кратний 5 с, то вибирається перший заданий час ходу, кратний 5 с $T_x^3 > T_{xmin}$ і для цього часу розраховується траєкторія руху 1. Кожний наступний заданий час ходу по перегону збільшується на 5 с, тобто $T_{x2}^3 = T_{x1}^3 + 5c$, $T_{x3}^3 = T_{x2}^3 + 5c$ і т. д. Відповідно для заданих часів ходу $T_{x2}^3, T_{x3}^3, T_{x4}^3, T_{x5}^3$ розраховуються траєкторії руху 2, 3, 4, 5.

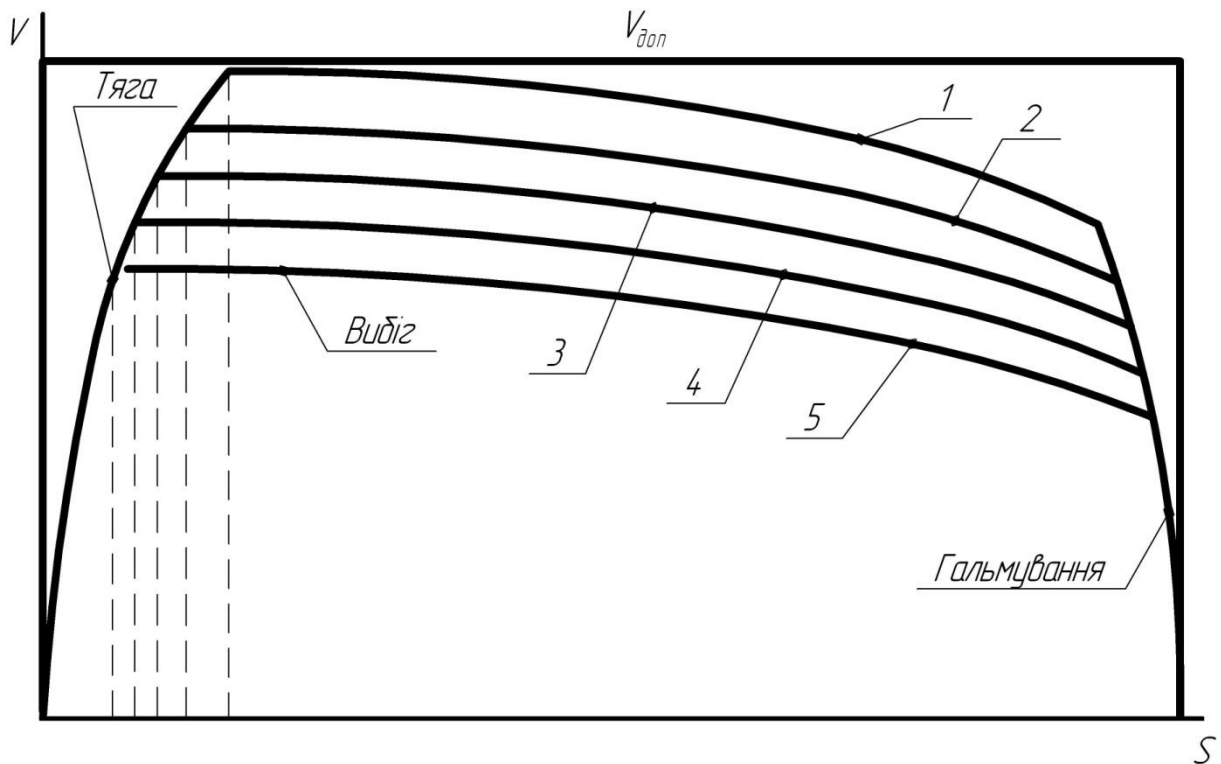


Рисунок 4.2 – Траєкторії руху поїзда для різних часів ходу

Досягнення заданого часу ходу поїзда по перегону здійснюється вибором координати вимкнення тягових двигунів $S_{вимкн1}$, $S_{вимкн2}$, $S_{вимкн3}$, $S_{вимкн4}$, $S_{вимкн5}$. Якщо отриманий час ходу по перегону не рівний заданому T_x^3 з точністю до 1 с, то змінюється місце вимкнення тягових двигунів на один крок інтегрування в той чи інший бік в залежності від знаку неузгодженості часів ходу і знову проводиться моделювання руху поїзда до виконання умови

$$|T_x^3 - T_x| \leq 1 \text{ с}. \quad (4.12)$$

На перегонах з двома увімкненнями тягових двигунів перше увімкнення двигунів виконується у фіксованій (заданій) координаті $S_{вимкн1}$, друге увімкнення виконується в заданій координаті $S_{увімкн2}$ (рисунок 3.2), а досягнення умови заданого часу ходу (4.12) здійснюється за таким же алгоритмом, як і на перегонах з одним увімкненням тягових двигунів шляхом підбору координати $S_{вимкн2}$.

5 ПОЗНАЧЕННЯ ЗМІННИХ, ПРИЙНЯТІ У ПРОГРАМІ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ПОЇЗДА

На рисунку 5.1 подано модульну блок-схему алгоритму моделювання руху поїзда відповідно до складеної мовою Паскаль 7.0 програми.

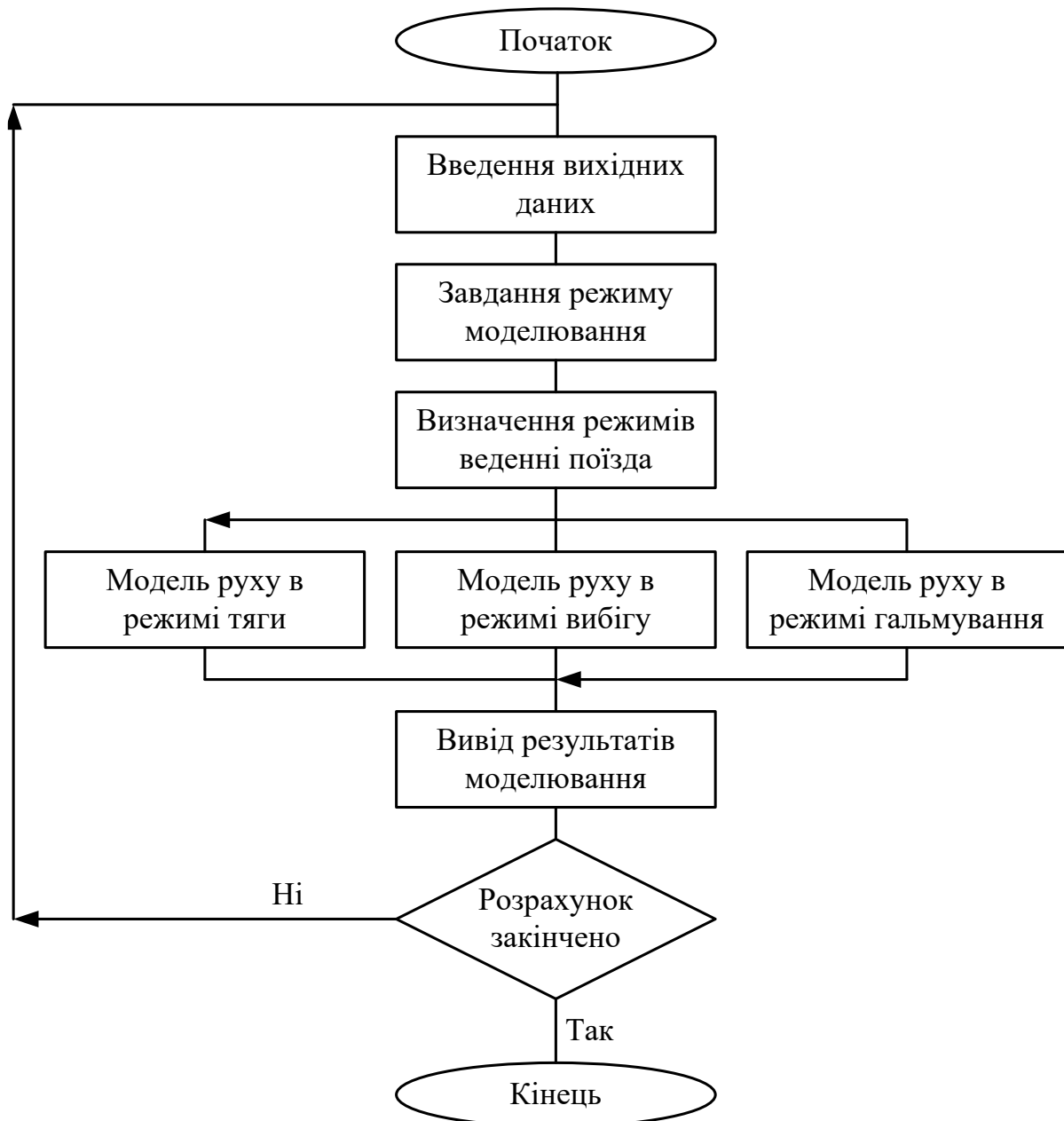


Рисунок 5.1 – Модульна блок-схема алгоритму

Позначення змінних, що використовуються в моделі руху поїзда, наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Позначення змінних, що використовуються в моделі руху поїзда

Позначення	Параметр
1	2
<i>Константи</i>	
PB	Маса порожнього вагона
Sm	Прискорення (за модулем) при пригальмовуванні
Sam	Прискорення (за модулем) при прицільному гальмуванні
UH	Номінальна напруга на контактній рейці
RD	Активний опір двигуна
ColPoint	Кількість точок апроксимації
IaU	Масив значень струму в точках апроксимації залежності швидкості від струму при номінальній напрузі на контактній рейці
Vd	Масив значень швидкості в точках апроксимації залежності швидкості від струму при номінальній напрузі на контактній рейці
Ft	Масив значень сили тяги в точках апроксимації залежності сили тяги від струму
IaF	Масив значень струму в точках апроксимації залежності сили тяги від струму
VP1, VP2, VP3	Значення швидкостей в точках кусково-постійної апроксимації залежності сили тяги від швидкості
FD1, FD2, FD3	Значення сили тяги в точках кусково-постійної апроксимації залежності сили тяги від швидкості
TokDv	Струм в двигуні при кусково-постійній апроксимації залежності сили тяги від швидкості
OmegaT1, OmegaT2	Коефіцієнти для розрахунку основного опору в режимі тяги
KV1, KV2, KV3	Коефіцієнти для розрахунку основного опору в режимі вибігу
Sekyvalent	Площа еквівалентної поверхні
ColVagon	Кількість вагонів у поїзді

Продовження таблиці 5.1

1	2
<i>Змінні</i>	
KoefA0	Масив вільних членів кусково-лінійної апроксимації залежності магнітного потоку від струму
KoefA1	Масив коефіцієнтів при змінній кусково-лінійній апроксимації залежності магнітного потоку від струму
KoefB0	Масив вільних членів кусково-лінійної апроксимації залежності сили тяги від струму
KoefB1	Масив коефіцієнтів при змінній кусково-лінійній апроксимації залежності сили тяги від струму
CooEndDopV	Масив координат кінців рівнів допустимих швидкостей
DopV	Масив рівнів допустимих швидкостей
CooEndProf	Масив координат кінців елементів профілю
Prof	Масив ухилів елементів профілю
CooBegRad	Масив координат початків ділянок з кривизною
CooEndRad	Масив координат кінців ділянок з кривизною
Rad	Масив радіусів ділянок з кривизною
ColDopV	Кількість рівнів допустимих швидкостей
ColProf	Кількість елементів профілю
ColRad	Кількість ділянок з кривизною
Dlina	Довжина перегону
RealU	Реальна напруга на контактній рейці
Massa	Маса завантаження вагона пасажирами
CooOneOff	Координата 1 ^{го} вимкнення тягових двигунів
CooTwoOn	Координата 2 ^{го} увімкнення тягових двигунів
CooTwoOff	Координата 2 ^{го} вимкнення тягових двигунів
CooKT	Координата контрольної точки
StepT	Крок інтегрування по шляху в режимі тяги
StepV	Крок інтегрування по шляху в режимі вибігу або гальмування
FlagHand	Ознака «ручного» керування рухом поїзда
FlagOneOn	Ознака перегону з одним увімкненням тягових двигунів

Продовження таблиці 5.1

1	2
<p>MasParam</p> <p><i>COneOff</i></p> <p><i>CTwoOn</i></p> <p><i>CTwoOff</i></p> <p><i>CTorm</i></p> <p><i>CStop</i></p> <p><i>VOneOff</i></p> <p><i>VTwoOnn</i></p> <p><i>VTwoOff</i></p> <p><i>VTorm</i></p> <p><i>VKT</i></p> <p><i>TOneOff</i></p> <p><i>TTwoOn</i></p> <p><i>TTwoOff</i></p> <p><i>TTorm</i></p> <p><i>TStop</i></p> <p><i>TKT</i></p> <p><i>Electro</i></p>	<p>Масив параметрів руху поїзда з такими полями:</p> <p>координата 1^{го} вимкнення тягових двигунів;</p> <p>координата 2^{го} ввімкнення тягових двигунів;</p> <p>координата 2^{го} вимкнення тягових двигунів;</p> <p>координата початку прицільного гальмування;</p> <p>координата зупинки поїзда;</p> <p>швидкість при 1^{му} вимкненні тягових двигунів;</p> <p>швидкість при 2^{му} ввімкненні тягових двигунів;</p> <p>швидкість при 2^{му} вимкненні тягових двигунів;</p> <p>швидкість на початку прицільного гальмування;</p> <p>швидкість проходження контрольної точки;</p> <p>час в момент 1^{го} вимкнення тягових двигунів;</p> <p>час в момент 2^{го} ввімкнення тягових двигунів;</p> <p>час в момент 2^{го} вимкнення тягових двигунів;</p> <p>час в момент початку прицільного гальмування;</p> <p>час в момент зупинки поїзда;</p> <p>час у момент проїзду контрольної точки;</p> <p>витрата електроенергії поїздом</p>
TekProf	Номер поточного об'єкта профілю колії
TekRad	Номер найближчої (по ходу руху поїзда) ділянки з кривизною
TekDopV	Номер поточного рівня допустимої швидкості
<p>Regim</p> <p>-3</p> <p>-2</p> <p>-1</p> <p>0</p> <p>1</p> <p>2</p> <p>3</p>	<p>Режим ведення поїзда:</p> <p>пригальмовування між 1^ю і 2^ю тягою;</p> <p>пригальмовування перед прицільним гальмуванням;</p> <p>прицільне гальмування;</p> <p>вибіг перед прицільним гальмуванням;</p> <p>вибіг між 1^ю і 2^ю тягою;</p> <p>1^а тяга;</p> <p>2^а тяга</p>
TekTок	Струм двигуна на даному кроці інтегрування
S	Поточна координата поїзда
V	Поточна швидкість поїзда
T	Поточний час
dS	Приріст шляху на даному кроці інтегрування

Продовження таблиці 5.1

1	2
dV	Приріст швидкості на даному кроці інтегрування
dT	Приріст часу на даному кроці інтегрування
Pow	Потужність двигуна на даному кроці інтегрування
Wosn	Основний опір руху на даному кроці інтегрування
Wdop	Додатковий опір руху на даному кроці інтегрування
Uskor	Уповільнення на даному кроці інтегрування (якщо поїзд іде в режимі гальмування або пригальмовування)
VTorm	Швидкість початку гальмування
TimeGo	Заданий час ходу по перегону
TekIter	Номер поточного варіанта руху поїзда по перегону

6 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1 Вивчити об'єкт моделювання і модель руху поїзда.

2 Ввести з клавіатури вихідні дані перегону відповідно до номера варіанта (таблиця А.1 додатка А) і розрахувати траєкторії руху для перегону з одним увімкненням тягових двигунів для завантажень вагона пасажирами 2, 9, 18 т для п'яти заданих часів ходу по перегону. Допустиму швидкість прийняти рівною 80 км/год, напругу на струмоприймачі рівною 800 В.

3 За даними, поданими на моніторі, побудувати на одному рисунку п'ять траєкторій руху поїзда $V(S)$ для завантаження, рівного 9 т, для п'яти заданих часів ходу.

4 Для середнього заданого часу ходу побудувати на одному рисунку три траєкторії руху поїзда $V(S)$ для завантажень вагона, рівних 2, 9, 18 т.

5 Для перегону з одним увімкненням тягових двигунів розрахувати і побудувати на одному рисунку три траєкторії руху поїзда $V(S)$ для завантаження вагона, рівного 9 т, при напругах на струмоприймачі, рівних 750 В, 800 В, 850 В.

6 Побудувати на одному рисунку залежності витрати електроенергії від часу ходу $A(T_x)$ для $m_n = 9$ т, $U = 800$ В.

7 Провести дослідження впливу кроку інтегрування в режимі тяги на точність моделювання руху поїзда, для цього провести розрахунки при кроках інтегрування, рівних 1, 2, 3, 4, 5 м. Порівняння провести за часом ходу і витратою електроенергії.

8 Ввести з клавіатури вихідні дані перегону відповідно до номера варіанта (таблиця А.2 додатка А) і розрахувати траєкторію руху для перегону з двома ввімкненнями тягових двигунів для завантажень вагона пасажирами 2 т, 9 т, 18 т для п'яти заданих часів ходу по перегону. Допустиму швидкість прийняти рівною 80 км/год, напругу на струмоприймачі рівною 800 В.

9 Побудувати на одному рисунку три траєкторії руху поїзда $V(S)$ для трьох завантажень вагона пасажирами 2 т, 9 т, 18 т для одного заданого часу ходу по перегону.

10 Побудувати на одному рисунку п'ять траєкторій руху поїзда $V(S)$ для п'яти заданих часів ходу по перегону при завантаженні вагона 9 т.

11 На перегоні з одним увімкненням тягових двигунів ввести в середині перегону додаткове обмеження швидкості 60 км/год довжиною 200 м. Розрахувати траєкторію руху поїзда $V(S)$. Підібрати координату другого увімкнення тягових двигунів для того, щоб провести поїзд з часом ходу, рівним мінімальному часу ходу, отриманому без введення додаткового обмеження швидкості.

7 ІНСТРУКЦІЯ ДЛЯ РОБОТИ З ПРОГРАМОЮ

Робота виконується в такій послідовності: задаються параметри перегону, задаються параметри руху, проводиться розрахунок траєкторій руху і перегляд розрахованих траєкторій. Всі ці дії перераховані в основному меню (воно з'являється відразу після запуску програми). Для вибору тієї чи іншої дії необхідно підвести стрілку «миші» до відповідного елементу меню і натиснути на ліву кнопку. Якщо елемент активний (тобто його можна вибрати), то він стає рельєфним. При відсутності «миші» вибір елементів меню можна здійснювати клавішами табуляції і введення.

7.1 Введення параметрів перегону

При виборі цього пункту меню на екрані з'являється картинка перегону. На масштабній сітці показані рівні допустимих швидкостей, під масштабною сіткою – елементи профілю. Під кожним елементом профілю підписані його довжина і ухил в тисячних (позитивне число означає підйом, негативне – ухил). Під профілем показані ділянки з кривизною, якщо таких ділянок немає, то показана пряма лінія. Під кожною ділянкою з кривизною підписані її довжина і радіус кривизни. У нижній частині екрана показані кнопки зміни довжини перегону, переходу до введення параметрів руху і виходу в основне меню.

Для зміни параметрів того чи іншого елемента перегону (рівня допустимої швидкості, елемента профілю або ділянки з кривизною) необхідно підвести стрілку «миші» до редагованого елемента (він стане рельєфним) і натиснути ліву кнопку «миші». З'явиться вікно введення параметрів обраного елемента. Скасувати введення нових числових значень можна, натиснувши клавішу «Esc». Після введення нових числових значень обраного елемента перегону програма автоматично відредагує всі елементи, які залишилися до кінця перегону, тому доцільно починати редагування з перших елементів. Якщо кількість «однорідних» елементів (рівнів допустимих швидкостей, елементів профілю або ділянок з кривизною) дорівнює 15, то редагування, що призводять до збільшення «однорідних» елементів, блокується.

Для зміни довжини перегону слід підвести стрілку «миші» до відповідної клавіші в нижньому рядку екрана і натиснути на ліву кнопку. Після цього з'явиться вікно введення довжини перегону. Скасувати введення довжини перегону можна, натиснувши клавішу «Esc». Після цього програма автоматично відредагує всі параметри перегону під нову довжину, тому доцільно редагування параметрів перегону починати зі зміни його довжини.

Для видалення ділянки з кривизною необхідно в параметрах цієї ділянки вказати нульовий радіус. Для додавання нової ділянки з кривизною необхідно підвести «мишу» до напису «Крив.» в нижній лівій частині екрана (якщо ця клавіша активна,

тобто кількість ділянок з кривизною не перевищує 14, то вона стане рельєфною) і натиснути ліву кнопку «миші».

При відсутності «миші» вибір всіх елементів перегону та клавіш в нижньому рядку екрана можна здійснювати за допомогою клавіш табуляції і введення.

Для переходу до зміни параметрів руху потрібно підвести стрілку «миші» до відповідного напису в нижньому рядку екрана і натиснути ліву кнопку «миші» (можна «натиснути» клавішу виходу в основне меню, а там вибрати введення параметрів руху).

7.2 Введення параметрів руху

При виборі цього елемента меню на екрані з'являється таблиця. Зліва написані найменування параметрів, праворуч – їх значення. Для редагування того чи іншого параметра необхідно підвести «мишу» до значення параметра (якщо обраний параметр допускається редагувати, то його значення стане рельєфним) і натиснути ліву кнопку «миші». Після цього з'явиться вікно введення нового значення обраного параметра, а якщо параметр може мати тільки два значення, то він зміниться автоматично. Для скасування введення нового числового значення достатньо натиснути клавішу «Esc».

7.3 Розрахунок траєкторій

Після задання параметрів перегону і руху поїзда можна розраховувати траєкторії руху (якщо керування рухом задано автоматичне, то програма розрахує траєкторії для п'яти мінімальних часів ходу, якщо керування рухом задано ручне, то програма розрахує одну траєкторію із заданими параметрами). Після вибору цього пункту меню програма почне розрахунок траєкторій. Перервати цей процес можна, натиснувши клавішу «Esc».

7.4 Перегляд розрахованих траєкторій

При виборі цього пункту меню на екрані висвічується графік залежності швидкості поїзда від шляху. Під графіком показані профіль і ділянки з кривизною. У нижньому рядку

екрана виведені клавіші керування переглядом траєкторій. Для вибору тієї чи іншої клавіші необхідно підвести стрілку «миші» до напису (якщо ця клавіша активна, то напис стане рельєфним) і натиснути ліву кнопку «миші». При відсутності «миші» вибір дій здійснюється клавішами табуляції і введення. Нижче подано призначення кожної клавіші:

- клавіша *«Попередній»* – для перегляду попереднього варіанта траєкторії (якщо поточний варіант перший або керування рухом було встановлено ручне, то дана клавіша неактивна);

- клавіша *«Наступний»* – для перегляду наступного варіанта траєкторії (якщо поточний варіант останній або керування рухом було встановлено ручне, то дана клавіша неактивна);

- клавіша *«Таблиця»* – для перегляду табличного варіанта траєкторії руху (вона з'являється якщо в поточний момент на екрані висвітлена не таблиця);

- клавіша *«Параметри»* – для перегляду параметрів поточного варіанта траєкторії руху (вона з'являється якщо в поточний момент на екрані не висвітлені параметри);

- клавіша *«Графік»* – для перегляду графіка траєкторії руху (вона з'являється, якщо в поточний момент на екрані виведено не графік);

- клавіша *«Вихід»* – для виходу з режиму перегляду траєкторій в основне меню.

Для перегляду сімейства траєкторій (при автоматичному керуванні рухом) потрібно встановити графічне зображення останнього варіанта траєкторії і вибрати клавішу *«Наступний»*.

7.5 Завершення роботи

Для завершення роботи програми потрібно вийти в основне меню і вибрати пункт *«Вихід з програми»*.

ПИТАННЯ ДО ЗАХИСТУ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1 Що таке математичне моделювання і які різновиди математичних моделей Вам відомі?

2 На яких етапах створення систем керування використовується математичне моделювання?

3 У чому полягає мета виконання даної лабораторної роботи?

4 Що називають тяговою характеристикою двигуна?

5 Які в лабораторній роботі були прийняті допущення з метою спрощення моделі поїзда?

6 Які сили прикладаються до поїзда під час руху, як вони визначаються і в яких одиницях вимірюються?

7 Що таке основний і додатковий опори руху, як вони визначаються?

8 Що називається перегоном? Охарактеризуйте траєкторії руху поїзда на перегоні з одним та двома ввімкненнями тягових двигунів.

9 Запишіть рівняння руху поїзда в диференціальній формі та охарактеризуйте всі параметри, що до нього входять.

10 Яким чином можна обчислити час руху поїзда?

11 Яким чином можна обчислити витрати електроенергії вагона на тягу поїзда?

12 За якої умови визначається початок гальмування при зупинці поїзда на станції?

13 Для яких цілей застосовується пригальмовування?

14 Яким чином визначається швидкість початку гальмування при обмеженнях швидкості?

15 Яким чином визначається час руху поїзда в режимі пригальмовування перед обмеженням швидкості?

16 Яким чином досягається заданий час ходу поїзда по перегону?

17 Охарактеризуйте траєкторії руху для різних часів ходу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Максимей, И.В. Имитационное моделирование на ЭВМ [Текст] / И.В. Максимей. – М.: Радио и связь, 1988. – 232 с.

2 Микропроцессорные системы автоведения электроподвижного состава [Текст] / Л.А. Баранов, Я.М. Головичер, Е.В. Ерофеев, В.М. Максимов; под ред. Л.А. Баранова. – М.: Транспорт, 1990. – 272 с.

3 Радченко, В.Д. Сопротивление движению вагонов метрополитена [Текст] / В.Д. Радченко. – М.: Трансжелдориздат, 1957. – 71 с.

4 Ерофеев, Е.В. Моделирование систем управления [Текст] : метод. указания к практическим занятиям / Е.В. Ерофеев. – М.: МИИТ, 1999. – 43 с.

ДОДАТОК А

Варіанти завдання до виконання лабораторної роботи

Таблиця А.1 – Вихідні дані перегону з одним включенням тягових двигунів

Варі-ант	Довжина перегону, м	Довжини елементів профілю, м	Ухили	Координата початку кривої, м	Координата кінця кривої, м	Радіус кривої, м
1	2	3	4	5	6	7
1	1850	225 370 900 215 140	3 -40 -5 30 3	200	400	500
2	3000	890 840 710 560	-3 -5 5 -3	1000	1500	1000
3	2120	710 430 810 170	-3 -15 3 -3	700	1000	800
4	1540	80 700 760	1 -2 -1	300	600	900
5	1690	730 360 370 230	3 10 3 -3	500	900	1000
6	1420	430 690 110 190	-3 3 30 3	400	700	700
7	1430	130 330 570 280 120	31 -40 -5 30 -3	700	900	800

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7
8	1290	120 250 240 160 290 160 70	-3 -40 -12 5 33 5 3	400	600	900
9	1260	370 190 260 360 80	5 -30 -3 3 3	900	1100	1000
10	1140	110 430 540 60	3 -3 -10 3	300	600	900
11	1070	590 330 150	-3 20 -3	400	600	800
12	2950	350 270 1500 170 510 150	0 3 -5 -3 20 -3	1000	1300	700
13	2130	200 320 640 590 200 180	3 -3 -5 9 20 -3	900	1300	1000
14	1720	550 200 600 200 170	-3 -40 3 40 -3	700	1000	900
15	1860	150 380 840 490	3 -30 -5 3	900	110	600

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7
16	2180	190 610 890 340 150	3 -20 -3 30 0	1500	1700	500
17	2110	170 810 440 690	0 -3 15 3	900	1200	700
18	2380	120 650 970 500 140	3 0 -3 3 -3	700	1000	600
19	3300	580 1090 830 800	3 -3 -10 3	2000	2300	700
20	1610	150 380 600 330 150	-3 -20 5 15 3	600	1000	800

Таблиця А.2 – Вихідні дані перегону з двома ввімкненнями тягових двигунів

№ варіанта	Довжина перегону, м	Довжини елементів профілю, м	Ухили	Координата першого вимкнення тягових двигунів, м	Координата другого ввімкнення тягових двигунів, м
1	2	3	4	5	6
1	1610	130 225 655 310 290	3 -45 3 30 3	42	480
2	1217	157 246 170 260 384	-3 -40 -5 40 3	150	635
3	2250	490 190 210 430 735 195	-3 5 15 5 37 -3	340	1325
4	1870	198 270 268 238 124 102 470 200	3 -6 -4 5 25 40 5 3	130	1250
5	2180	292 304 178 320 378 188 520	3 -5 3 -3 -5 30 -3	205	780

Продовження таблиці А.2

1	2	3	4	5	6
6	2100	520 187 278 320 180 325 290	3 -30 5 3 -3 5 -3	250	1245
7	2110	500 200 300 320 180 320 290	3 -30 10 3 -3 6 3	250	1250
8	2500	665 383 320 182 660 300	3 -14 -5 14 0 3	675	1460
9	1940	158 715 180 737 150	3 -40 -3 30 -3	120	1140
10	1710	546 200 600 200 164	-3 -40 3 40 -3	125	1030
11	2750	137 967 252 775 619	-3 -33 -5 30 3	120	1600
12	2090	233 213 908 598 138	3 -40 3 40 3	180	1250

Продовження таблиці А.2

1	2	3	4	5	6
13	3000	145 1150 847 705 153	3 -40 3 40 -3	130	1620
14	1605	150 332 588 385 145	-3 -33 5 40 3	140	870
15	3490	980 843 1107 560	-3 -5 5 -3	350	1830
16	2650	144 229 787 640 850	3 -30 3 33 -3	140	1090
17	2480	444 293 614 98 347 684	-3 3 30 -5 5 0	400	1000
18	1940	139 740 609 197 255	0 -3 30 3 -3	400	1100
19	1810	112 178 700 550 270	3 -30 3 30 -3	330	1200
20	2460	305 356 730 566 503	-3 -10 3 33 3	400	1500

