

## ЗАДАЧІ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ БЕЗПЕЧНОГО РУХУ ПОЇЗДІВ

© Притула М., Шпакович Р., Пасічник О., 2006

**Запропоновано алгоритми розрахунку часових параметрів безпечного руху поїздів.**

**The algorithms of calculation of time parameters of trains safe motion are offered in the work.**

### 1. Постановка проблеми

Географія і об'єми потоків пасажирів та вантажів визначають потоки вагонів та поїздів. Основним завданням організації переміщення пасажирів та вантажів є насамперед забезпечення їхньої безпеки. Безпека переміщення поїздів полягає у дотриманні певних часових інтервалів між рухомими поїздами. До таких часових інтервалів належать міжпоїзні та станційні інтервали. Розраховані параметри безпечного руху поїздів істотно впливають на: встановлення часу початку руху поїзда, часові параметри переміщення поїздів на перегонах, режим переміщення поїзду на перегонах і станціях, на енергетичні та експлуатаційні затрати з переміщення поїздів. А це, своєю чергою, впливає на: формування оптимальних графіків руху поїздів, розрахунок оптимальних режимів руху поїздів, максимальної пропускну здатності перегонів і станцій, нормативних показників, зокрема, часових, вагових та затрат енергетичних ресурсів. Кожного разу, розробляючи черговий графік руху поїздів, потрібно розраховувати розглядувані інтервали. Сьогодні в Україні не існує автоматизованої системи розрахунку часових параметрів таких інтервалів. У відповідних службах Укрзалізниці їх розраховують "вручну", а це не тільки значні затрати праці, але й неточності в бік збільшення інтервалів. А це, своєю чергою, впливає, як було сказано вище, на оптимізацію перевезень. Автоматизацією розрахунку інтервалів безпеки руху можна також наблизитися до розроблення системи оперативного формування графіків руху поїздів.

### 2. Мета роботи

Метою роботи є автоматизація процесу розрахунку часових інтервалів безпеки руху поїздів для всіх перегонів і станцій залізниці України із врахуванням існуючої технології організації перевезень і технічного забезпечення керування рухом поїздів.

### 3. Формулювання задач

Розглядається частково орієнтований мультиграф  $G(X, Y)$ , де  $X$  – множина вершин,  $Y$  – множина ребер. Множина вершин  $X$  є об'єднанням підмножин вершин таких основних типів: осей роздільних пунктів, стрілочних переводів, ізоляційних стиків (світлової сигналізації).

Ребро  $(i, j)$ , де  $i$  та  $j$  – вершини типу "ізоляційні стики" називають блок-ділянкою. Для безпеки переміщення встановлюють найменшу кількість блок-ділянок, які повинні розмежовувати групи поїздів в процесі їх переміщення на перегонах. Кожне ребро характеризується параметрами плану і профілю, які складаються з елементів  $(a, b, i, r, l)$ , де  $a, b$  – координати початку та кінця елемента,  $i$  – ухил,  $r$  – радіус кривини,  $l$  – довжина.

**Задача 1.** Побудувати графічний редактор для формування схем залізниць, станцій і розробити такий параметричний опис об'єктів, які б забезпечили розв'язання задач організації безпечного руху поїздів.

**Задача 2.** Розробити алгоритми розрахунку часових і енергетичних параметрів руху поїздів за різних початкових і граничних умов.

**Задача 3.** Розробити нормативну базу даних, інтегровану з графічною базою даних для інформаційної підтримки задач 2 і 4.

**Задача 4.** Розробити алгоритми розрахунку міжпоїзних та станційних інтервалів.

#### 4. Виклад основних результатів

##### 4.1. Графічний редактор для формування граф-схеми залізниць і станцій

Граф-схема складається з вершин, ребер, орієнтованих ребер (дуг). З вершин і ребер складаються роздільні пункти, допоміжні пости, пасажирські пункти зупинки. До роздільних пунктів віднесено: станції, роз'їзди, обгінні пункти, колійні пости, прохідні світлофори на дільницях з автоблокуванням, межі блоку ділянок. На основі цих понять створено редактор схем залізниць. Його призначення – побудова схем залізниць з можливістю їхнього застосування для розрахунків під час складання графіка руху поїздів. Редактор схем залізниць передбачає створення інформаційної бази даних технічних і технологічних параметрів залізниці з одночасною побудовою графічної схеми залізниці. Вершини і ребра є різних типів. Кожен тип вершин і ребер має свої параметри. Розрізнятимемо вершини таких основних типів: роздільний пункт, стрілочне переведення, межа роздільного пункту, тупиковий упор, фіктивна, ізостик (світлофор). Всі вершини визначаються кодом графічного зображення, ідентифікаторами розміщення, зв'язку із сусідніми об'єктами, назвою чи номером. Вершина – *роздільний пункт* – визначається ще ідентифікаторами належності, спеціалізації. Вершина – *стрілочне переведення* – характеризується засобами керування, номером переведення, типом, маркою хрестовини.

Всі ребра визначаються параметрами початкової і кінцевої вершин, орієнтацією. Ребро *залізничні колії на перегоні* додатково характеризується типом пристроїв контролю за рухом поїздів на перегонах. Крім цього, ребра визначаються довжиною, шириною, видом тяги, параметрами повздовжнього плану та профілю. Для зменшення розмірності графу ребру приписують інформацію про координати ізоляційних стиків світлофорів. Вказані параметри ребер змінюються нечасто. Переважно змінними параметрами ребер є максимально допустимі швидкості руху поїздів за видами поїздів. Ребро – *станційні колії* – характеризується номером колії, спеціалізацією за видом поїзної роботи і видом руху, корисною та повною довжиною.

##### 4.2. Тягово-енергетичні розрахунки

Тягово-енергетичні розрахунки полягають в розв'язанні такої оптимізаційної задачі.

Потрібно знайти такі  $v = g(s), I = f(s)$  ( $G = g(x)$ ), швидкість руху і величину струму (затрат палива), які б задовольняли рівняння

$$\frac{d^2s}{dt^2} = \frac{dv}{dt} = \frac{\eta(F_m \pm W_k - B)}{(Q + P)},$$

за обмеження

$$v \leq v_m(x, y, z), T_p < T_m,$$

і при цьому

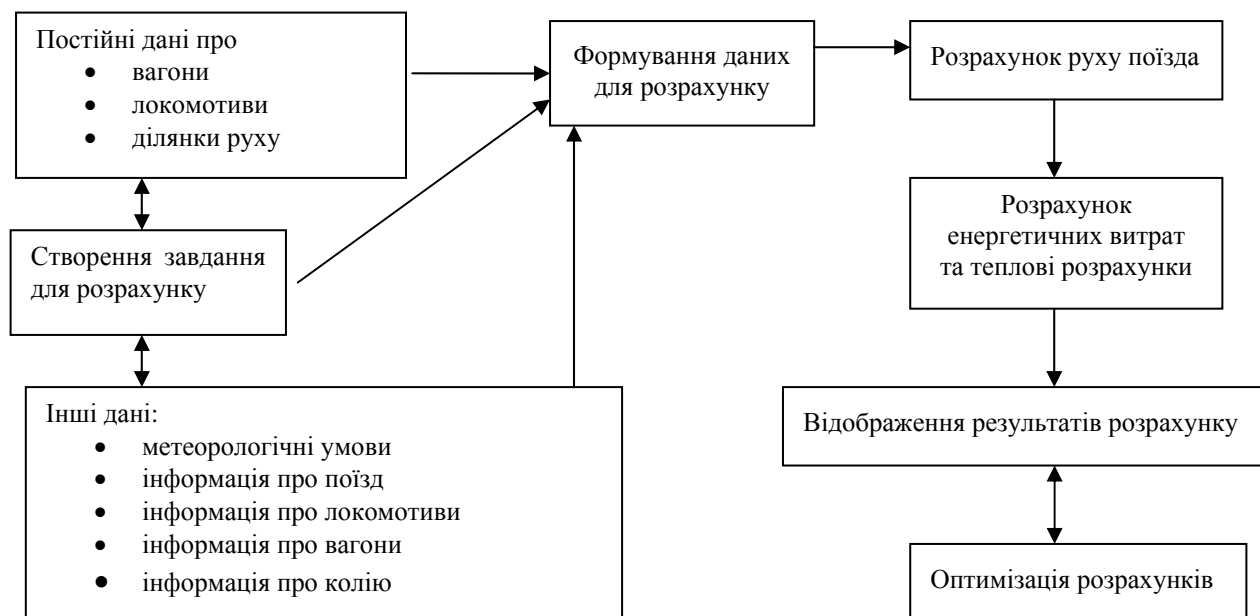
$$\int_0^t (I(v, K, S), G(v, K, S)) dt \rightarrow \min,$$

де  $t$  – час переміщення;  $F_m(I)$  – тягова сила,  $B$  – гальмівна сила,  $Q$  – вага вагонів,  $P$  – вага локомотиву,  $T_m$  – максимально допустима температура нагрівання обмоток тягових двигунів.

$$W_k = F_{on} + F_{ood}(i_k, r, T, V_b, n),$$

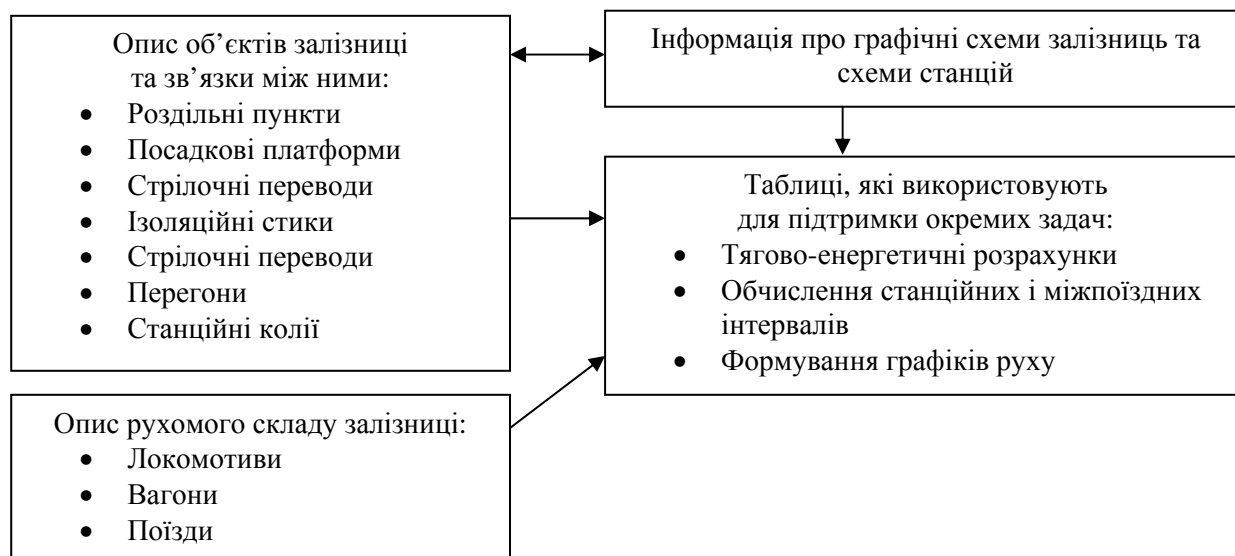
де  $F_{ood}$  – додатковий опір, який залежить від ухилу  $i_k$ , радіусу кривизни траєкторії переміщення  $r$ , температури повітря  $T$ , швидкості вітру  $V_b$ , кількості ввімкнених підвагонних генераторів  $n$ .

### Схема системи тягово-енергетичних розрахунків



### 4.3. База інформаційної підтримки задач

Бази даних можна подати у вигляді таких чотирьох блоків:



Основні об'єкти мають такі властивості:

**роздільні пункти** – код, назва, категорія, спеціалізація за родом роботи, система управління стрілочними переводами;

**посадкові платформи** – приналежність до певного перегону, координата, назва;

**ізоляційні стики** – приналежність до певного перегону, координата, тип світлофора;

**стрілочні переводи** – засоби керування, номер, тип та марка хрестовини;

**перегони** – з'єднують дві сусідні станції.

Для кожної з цих станцій вказано такі параметри: межа станції, відстань до вхідного/вихідного стрілочного перевodu, допустимі швидкості руху різних типів поїздів по різних (головній та бічній) коліях певної станції в обох напрямках. Поряд з цим перегін має певний тип пристроїв системи централізації блокування (СЦБ) (автоблокування, напівавтоблокування, ключ жезл, інші). Перегін складається з однієї або декількох колій.

**Станційні колії** – номер колії, спеціалізація за видом поїзної роботи і видом руху, корисною та повною довжиною, планом, профілем та допустимою швидкістю.

**Колії характеризуються:** довжиною  $L$ , типом електрифікації (змінного струму, постійного струму, не електрифікована), орієнтацією (двобічна, парна, непарна), шириною (1520 або 1435 мм), профілем (послідовність елементів певного ухилу  $i_j$  і певної довжини  $l_{nj} = \bigcup_{j=1}^{N_n}(l_{nj}, i_j)$ ), криві

$(\bigcup_{j=1}^{N_k}(x_{kj}, l_{kj}, R_j))$ , де  $N_k$  – кількість кривих,  $x_{kj}$  – координата початку кривої,  $l_{kj}$  – довжина

елементу,  $R_j$  – радіус кривизни), допустимою швидкістю (для кожного типу поїзда набір

$\bigcup_{j=1}^{N_v}(l_{vj}, v_{\max j})$ , де  $N_v$  – кількість елементів обмежень за швидкістю,  $l_{vj}$  – довжина елемента,  $v_{\max j}$  –

максимально допустима швидкість руху), нейтральними вставками (тільки для електрифікованих

колій,  $\bigcup_{j=1}^{N_{н.вст.}}(x_{н.вст.j}, l_{н.вст.j})$ , де  $N_{н.вст.}$  – кількість нейтральних вставок,  $x_{н.вст.j}$  та  $l_{н.вст.j}$  – координата

початку та довжина нейтральної вставки), додатковими обмеженнями швидкості (для кожного типу

поїзда набір  $\bigcup_{j=1}^{N_{v_{дод}}}(x_{v_{дод.j}}, l_{v_{дод.j}}, v_{дод \max j})$ , де  $N_{v_{дод}}$  – кількість елементів додаткових обмежень за

швидкістю,  $x_{v_{дод.j}}$  – координата початку додаткового обмеження швидкості,  $l_{v_{дод.j}}$  – довжина

елемента,  $v_{дод \max j}$  – значення додаткового обмеження швидкості), ізоляційними стиками (система

сигналізації,  $\bigcup_{j=1}^{N_{i.c.}}(x_{i.c.j}, T_{н.i.c.j}, T_{н.i.c.j})$ , де  $N_{i.c.}$  – кількість ізоляційних стиків,  $T_{н.i.c.j}$  і  $T_{н.i.c.j}$  – тип

(вхідний, вихідний, попереджувальний, прохідний світлофори, ізоляційний стик) ізоляційного

стику у непарному та у парному напрямках відповідно, платформи  $(\bigcup_{j=1}^{N_{пл.}}(x_{пл.j}))$ , де  $N_{пл.}$  – кількість

платформ на колії,  $x_{пл.j}$  – координати платформ).

Опишемо рухомий склад.

**Вагони.** Параметри: тип  $j$ , маса  $m$ , тип гальмівних колодок, габарити. Типом визначаються такі параметри: довжина  $l_j$ , маса тари  $m_{0j}$ , кількість осей  $k_j$ , сила натиску колодок на вісь  $K_j$ .

Основний питомий опір руху вагонів за ланковою і безстиковою коліями визначають емпіричними формулами такого вигляду:

$$w_0^n = a_j + \frac{b_j + c_j v + e_j v^2}{q_0},$$

де  $a_j, b_j, c_j, e_j$  – коефіцієнти для певного типу вагона,  $v$  – швидкість руху,  $q_0$  – маса, яка відповідає одній осі колісної пари.

**Локомотиви** є різних типів. Кожен тип локомотиву визначається параметрами: маса  $m_j$ , довжина  $l_j$ , кількість осей  $k_j$ , сила натиску гальмівних колодок на вісь  $K_j$ , конструктивна швидкість  $v_{kj}$ , витрати палива в режимі холостого ходу  $G_{xj}$  (для тепловозів та дизель-поїздів), витрати електроенергії на внутрішні потреби  $E_{0j}$ .

Основний питомий опір руху локомотива в режимі тяги визначається емпіричними формулами такого вигляду:

$$w_0' = a_j + b_j v + c_j v^2;$$

опір руху під час холостого ходу:

$$w_x = e_j + f_j v + g_j v^2,$$

де  $a_j, b_j, c_j, e_j, f_j, g_j$  – коефіцієнти для певного типу локомотива і типу колії (ланкова або безстикова);  $v$  – швидкість руху.

Кожен локомотив має набір з  $n_j$  позицій  $\{p_{jk}, k = \overline{1, n_j}\}$ , для кожної позиції задано силові характеристики  $F_{jk}$ , струмові  $E_{jk}$  та теплові  $T_{jk}$  характеристики (для електровозів, моторних вагонів електропоїзда, тепловозів, моторних вагонів дизель-поїздів), паливні  $G_{jk}$  характеристики (для тепловозів, тепловозів з гідравлічною передачею, моторних вагонів дизель-поїздів, моторних вагонів дизель-поїздів з гідравлічною передачею).

Тягові характеристики локомотивів мають обмеження за ресурсами і надійністю роботи. Для тепловозів – за дизелем, тяговою передачею, зчепленню і конструктивною швидкістю. Для електровозів – за тяговим двигуном, зчепленням та конструктивною швидкістю.

**Поїзд** складається з набору однотипних локомотивів та вагонів.

#### 4.4. Система розрахунку інтервалів

**Станційні інтервали.** Станційними інтервалами називають проміжки часу між моментами прибуття і відправлення двох поїздів на роздільному пункті. Мінімальну величину станційного інтервалу визначають за умовами безпеки руху, часом виконання операцій приймання, відправлення і пропуску поїздів за умови недопущення зупинки чи сповільнення руху поїзда під час його наближення до вхідного (у разі беззупинкового пропуску поїзда через станцію і до вихідного) сигналу. Станційний інтервал описується умовами і правилами розрахунку. В умовах вказано допустимі для цього інтервалу комбінації перегонів, прилеглих до станції та пристрої (СЦБ), що діють на них.

Значення станційного інтервалу складається з часу виконання операцій для приготування маршруту і часу ходу одного чи двох поїздів.

Для кожного типу інтервалу залежно від засобів керування стрілочними переводами на цій станції та від пристроїв СЦБ на перегоні, для горловини якого розраховується інтервал, задають перелік станційних операцій, які необхідно виконати. Для кожного інтервалу задають правила розрахунку часу ходу поїзда. Вказують, чи цей поїзд прибуває/відправляється, чи рухається через горловину, для якої розраховано інтервал, чи зупиняється на станції. Також вказують координати точок, на основі яких визначають час руху поїзду.

Для проведення розрахунків станційних інтервалів для певної станції (чи станцій певної ділянки) вказують поїзди, між якими виникають інтервали; проводять тягові розрахунки для цих поїздів. Результатом тягових розрахунків для задачі обчислення інтервалів є час проходження поїздом всіх ізоляційних стиків та станцій. Маючи ці показники, обчислюють за вказаними правилами час ходу поїзда. Залежно від засобів керування стрілочними переводами та від пристроїв СЦБ обчислюють час для приготування маршруту.

**Міжпоїзні інтервали.** Міжпоїзні інтервали забезпечують безпеку руху поїздів на перегоні. Нехай поїзди рухаються зі станції  $i$  до станції  $j$ ,  $n$  – мінімальна допустима кількість блок-ділянок між поїздами. Міжпоїзним інтервалом буде мінімальний час між відправленнями поїздів зі станції  $i$ , за якого між поїздами повинно бути не менше ніж  $n$  блок-ділянок. Нехай  $t_k^1$  та  $t_k^2$  часи проходження  $k$ -го ізоляційного стику першим та другим поїздом відповідно,  $1 \leq k \leq K-1$ , де  $K$  – кількість блок-ділянок між станціями  $i$  та  $j$ .  $t_0^1 = t_0^2 = 0$  – час відправлення поїздів;  $t_K^1$  і  $t_K^2$  час прибуття поїздів на станцію  $j$ . Тоді міжпоїзний інтервал обчислюватиметься так: 
$$\tau = \max_{0 \leq k \leq K-n-1} (t_{k+n+1}^1 - t_k^2)$$

## Висновки

Розроблене інформаційне інтегроване середовище і побудовані алгоритми дали змогу автоматизувати процес розрахунку міжпоїзних і станційних інтервалів. Проведена апробація на реальних даних показала високу ефективність запропонованого підходу.

УДК 621.3.01

**А. Павельчак, В. Самотий\*, А. Наконечний**  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра комп’ютерних систем автоматизи  
\*Вища школа бізнесу (Республіка Польща)

## ГЕОМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ ПАРАМЕТРИЧНОЇ ЧУТЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНЕТНИХ ПРИСТРОЇВ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІПЕРПОВЕРХОНЬ

© Павельчак А., Самотий В., Наконечний А., 2006

**Розглянуто спосіб побудови геометричної моделі електромагнетного кола. Запропоновано метод розв’язання задачі параметричної чутливості, що ґрунтується на аналізі гіперповерхонь, побудованих в системі координат математичної моделі.**

**The mode of build-up of geometrical model of the electromagnetic circuit is considered. The solution method of problem of the parametric sensitivity which has been set up on the analysis of hypersurfaces constructed in a frame of mathematical model is offered.**

### Вступ

Сучасні вимоги до проектування електромагнетних пристроїв систем керування (ЕМП СК) обумовлюють комплексний підхід до розв’язання задач різного характеру, пов’язаних із необхідністю врахування схемних, конструктивних, технологічних та експлуатаційних факторів. Враховуючи велику складність задач, що виникають під час формування теорії ЕМП СК, є необхідність розроблення методів аналізу зміни технічних характеристик цих пристроїв за можливих варіацій різних схемних параметрів. Цю задачу вирішують за застосування ідей та методів теорії чутливості.

Аналіз чутливості дає змогу охарактеризувати зміни критеріїв якості та вихідних характеристик, зумовлених змінами моделі ЕМП СК. На практиці це допомагає інженерам чисельно оцінити зміни, викликані розкидом схемних параметрів. Крім того, за допомогою аналізу чутливості можна розробити алгоритм швидкого коригування розв’язку задачі відповідно до зміни параметрів.

Геометризація математичної моделі ЕМК (електромагнетного кола) дає змогу нам дати геометричне тлумачення її властивостей та застосувати широкі можливості тензорного аналізу під час її дослідження.

### Аналіз публікацій

Основні підходи до розв’язання поставленої задачі ґрунтуються на прямих методах диференціювання функцій чутливості або на непрямих методах визначення цих функцій [14]. Непрямі методи набули особливого розвитку у період повільних ЕОМ, де однією з вимог до методів була економія машинного часу. Серед них можна вказати такі методи визначення функцій