

ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ (273)

УДК 629.424.1

СИСТЕМИ ГЛОБАЛЬНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ В ТЯГОВИХ РОЗРАХУНКАХ З РОЗРАХУВАННЯМ ЗНОСУ КОЛІСНИХ ПАР РУХОМОГО СКЛАДУ

Асп. М. А. Барибін, д-р техн. наук А. П. Фалендиш,
кандидати техн. наук В. О. Гатченко, О. В. Клецька, асист. О. В. Кірицева

GLOBAL POSITIONING SYSTEMS IN TRACTION CALCULATIONS WITH CALCULATION OF WHEELSET WEAR OF ROLLING STOCK

Postgraduate student M. A. Barybin, D. Sc. (Tech.) A. P. Falendysh,
PhD (Tech.) V. O. Hatchenko, PhD (Tech.) O. V. Kletska, assistant E. V. Kiritseva

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.191.2020.217294>

Анотація. У статті розглянуті питання встановлення впливу різних видів складових основного й додаткового опору, визначена необхідність отримання інформації з систем глобального позиціонування GPS/ГЛОНАСС поїзних локомотивів та її використання в тягових розрахунках, встановлена величина зносу деталей і вузлів екіпажної частини. Визначено рівняння основного опору заданого об'єкта дослідження на базі закону збереження механічної енергії та порівняльної технічної характеристики систем навігації.

Ключові слова: GPS/ГЛОНАСС, тягові розрахунки, екіпажна частина, математичне моделювання, локомотив.

Abstract. The article deals with global positioning systems integrated on VL11 locomotives. The scheme of operation and comparative characteristics of the accuracy of information from GPS and GLONASS systems are given. Expressions of the main resistance components of the friction forces in rolling stock bearings, rolling friction of wheels on rails, resistance forces on track irregularities, air resistance forces and sliding friction forces of wheels on rails are established. Expressions of components of additional resistance are established: resistance forces from bows, curves, resistance when starting from a place, from low temperatures and wind. The speed dependence is constructed using the specified formulas for the specified calculation parameters. The paper uses the law of conservation of mechanical energy, as the main factor takes into account all the effects on the rolling stock, the movement of the train. Shown graphically with a high-speed graph of the tracking section of the considered stage. Based on the law of conservation of mechanical energy, the real value of the main drag forces of cars on the Shebelinka-Zanki tracking section is established, the possibility of obtaining in real time is proved, and it is proposed to use it to optimize the consumption of fuel and energy resources for train traction. The paper considers the issues of establishing the actual technical parameters of the rolling stock crew by approximating (linearization) the curve of theoretical smallpox resistance to the real one. An algorithm for searching for technical parameters of the crew part is proposed. The statement about the need to introduce mathematical modeling methods in the locomotive economy in order to establish rational traction costs, search for optimal operating modes and mass practical testing.

Keywords: *GPS / GLONASS, traction calculations, crew part, mathematical modeling, locomotive.*

Вступ. Розвиток систем глобального позиціонування транспортних засобів набув широкого розповсюдження у світі. Завдяки йому можливо вчасно отримати інформацію про переміщення та місцезнаходження об'єктів у просторі. Залізничний транспорт України є стратегічно важливим для функціонування економіки та соціальної інфраструктури, тому впровадження в локомотивне господарство систем GPS/ГЛОНАСС призвело до інформативності місця розташування тягових основних фондів на моніторах диспетчерських та інших служб. Підвищення точності визначення основних параметрів руху, збільшення можливостей обробки електронно-обчислювальної техніки та автоматизованих систем, а також пропускної спроможності каналів передачі інформації дають можливість обробки та аналізу отриманих даних. Створення на їх базі комплексів відстеження зносу основних фондів у реальному режимі часу дозволить зменшити витрати на експлуатацію рухомого складу, встановити оптимальні міжремонтні періоди та вагові норми, а також оптимізувати кошторис паливно-енергетичних ресурсів і їх баланс в загальній системі Укрзалізниці.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Системний аналіз тягових розрахунків ведеться протягом існування залізничного транспорту. Точність отриманих результатів впливає на витрати ресурсів на тягу і, як наслідок, здешевлення вартості перевезень. Визначення раціональних вагових норм є основою для підвищення провізної спроможності залізниць і зменшення коштів на ремонт рухомого складу. Не дивно, що безліч фахівців присвятили свої роботи окресленому напряму науки. Серед цих робіт слід відмітити праці С. І. Осипова [2], в яких сформовані основні методи для визначення сил, що діють на поїзд. Наукові праці [3, 5] дають картину впливу регіону

експлуатації на динамічні та ремонтні характеристики рухомого складу під час експлуатації протягом всього життєвого циклу. Становлення інформаційних систем і розвиток їх в локомотивному господарстві широко описані в праці [6]. Розвиток науково-технічного прогресу підвищує точність та об'єм інформації в процесі руху поїзда. Статті [1, 11] розкривають вплив факторів на рівняння руху та висувають вимоги до діагностичного обладнання. У статті [8] широко описана необхідність збільшення об'єму інформації та ітерацій обчислень для підвищення точності результату. У праці [13] описується застосування методів передачі даних великих об'ємів і втрати при пересиланні, що є важливим для GSM/GPRS систем та нівелює втрати одиничних сигналів у загальному потоці. Робота обладнання швидкостеміра ЗСЛ-2М [12] має досить велику похибку (2,5 %) швидкості в процесі експлуатації та потребує постійного догляду з боку ремонтного персоналу в той час, як системи глобального позиціонування при розрахунковій швидкості руху в 47,1 км/год електровоза ВЛ11 при розрахунку за даними [1, 7] складуть 0,8 %. Встановлення на локомотив блоків глобального позиціонування GPS/ГЛОНАСС вимагає оцінювання їх ефективності реєстрації і принципу дії. В загальному вигляді інформація наведена в роботах [4, 7]. Оскільки похибка супутникових систем є меншою [4, 7] порівняно з ЗСЛ-2М [12], тому доцільно проводити оцінювання впливу опору рухомого складу на основі інформації GPS/ГЛОНАСС [6].

У процесі експлуатації елементи екіпажної частини внаслідок взаємодії між собою зношуються, що характеризує якість функціонування рухомого складу [3, 5] та витрати ресурсів [9]. Тому виникає потреба знайти величину зміни зносу колісних пар та оцінити їх вплив на тягу поїздів. У статті

[9] подано програмний продукт для визначення паливно-енергетичних ресурсів, але він використовує дані [2, 10]. З метою встановлення сил опору руху реального поїзда виникає потреба визначати їх в режимі реального часу. Це можливо лише при використанні виразу, який може враховувати всі фактори впливу на рухомий склад, закону збереження механічної енергії. Тому вирішенням даної проблеми є розроблення на базі закону збереження механічної енергії з використанням даних блоків GPS/ГЛОНАСС рівняння опору руху та визначення зношеності основних вузлів екіпажної частини.

Визначення мети і завдань дослідження. Метою роботи є визначення сил основного опору руху вагонів з розрахуванням зносу основних елементів екіпажної частини. Для її досягнення необхідно вирішити такі завдання. Привести вирази для обчислень основного та додаткового опору руху з відображенням зміни параметрів залежно від швидкості. Використовуючи закон збереження механічної енергії, встановити вплив сил на поїзд. Проаналізувати систему функціонування глобального позиціонування GPS/ГЛОНАСС локомотивів ВЛ11 і розробити порівняльну характеристику. Визначити точність даних у розрахунках і методику наближення кривої «ідеального поїзда» до реального. Графічно відобразити ділянку трекінгу.

Основна частина дослідження. Розв'язання рівняння руху поїзда в умовах конкурентної боротьби залізниць за потоки

вантажів базується на економічній раціоналізації витрат ресурсів на тягу, наслідком якої є здешевлення вартості перевезень, а також зменшення трудомісткості і собівартості ремонтного процесу. Розроблення методів зниження паливно-енергетичних витрат як основна складова собівартості транспортування та відстеження зносу деталей з метою встановлення оптимальних міжремонтних періодів базується на аналізі результуючої суми сил, що діють на поїзд. При цьому їх можливо розділити на керовані, якими може керувати машиніст (гальмівні та сили тяги), та некеровані (сили опору руху). Робота тягового рухомого складу направлена у своїй більшості на подолання суми сил опору руху локомотива та складу. За умовами експлуатації вони поділяються на основні (які діють постійно) та додаткові (виникають в результаті дії профілю шляху чи особливостей роботи рухомого складу). Результуюче значення питомого основного опору є сумою питомих сил [2, 14] тертя в підшипниках рухомого складу ($w_{ТП}$), тертя кочення коліс по рейках ($w_{ТК}$), опору на нерівності шляху ($w_{НШ}$), повітряного середовища ($w_{ПОВ}$) та питомих сил тертя ковзання коліс по рейках ($w_{ТКО}$), вирази яких мають такий вигляд:

$$w_{ТП} = 10^3 \frac{q_0 - q_{КП}}{q_0} \mu_K \frac{d_{Ш}}{D_K}, \quad (1)$$

$$w_{ТК} = 10^3 \frac{2\delta}{D_K}, \quad (2)$$

$$w_{НШ} = 15,72 \frac{\Delta^2 V^2}{D_K^2 l_P} + 125 \frac{10^3 q_0 g r a^2}{u^2}, \quad (3)$$

$$w_{\text{ПОВ}} = C_X F_R \frac{0.35 H_{\text{бар}} V^2}{2 g m_{\text{PC}} (t_{\text{HB}} + 273)} , \quad (4)$$

$$w_{\text{TKO}} = 0,11 + 4\sigma^2 (0,044 + 0,00004 V^2) + 10^3 \mu_{\text{KO}} \frac{\Delta d_K}{D_K} + 500 \mu_{\text{KO}} \text{tg}\beta , \quad (5)$$

де q_0 – осьове навантаження рухомого складу, $q_0 = 21,75$ т;

$q_{\text{КП}}$ – маса колісної пари рухомого складу, $q_{\text{КП}} = 1,45$ т;

μ_K – коефіцієнт тертя буксових підшипників [2];

$d_{\text{Ш}}$ – діаметр шийки колісної пари рухомого складу, $d_{\text{Ш}} = 130$ мм;

D_K – діаметр колеса колісної пари рухомого складу, $D_K = 950$ мм;

δ – плече тертя кочення внаслідок пружного гістерезису колеса та рейки, $\delta = 0,17$ мм;

Δ – величини зазору в стику між рейками, $\Delta = 5$ мм;

V – швидкість рухомого складу, км/год;

l_p – довжина рейки, для перегону Шебелинка-Занки $l_p = 5000$ м;

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81$ м/с²;

r – модуль тертя основи колії, для залізобетонних шпал $r = 260$ Н/см²;

a – коефіцієнт відносної жорсткості верхньої будови залізничного шляху, для розрахунку приймаємо $a = 0,01$ см⁻¹;

u – модуль пружності колії, для рейок Р60 $u = 3000$ Н/см²;

C_X – аеродинамічний коефіцієнт рухомого складу, для 4-вісних зерновозів (цементовозів і цистерн) $C_X = 0,23$;

F_R – площа найбільшого поперечного перерізу рухомого складу, для 4-вісних зерновозів $F_R = 13,3$ м²;

$H_{\text{бар}}$ – атмосферний тиск навколишнього середовища, $H_{\text{бар}} = 760$ мм рт. ст.;

m_{PC} – маса рухомого складу, $m_{\text{PC}} = 4q_0$ т;

t_{HB} – температура навколишнього середовища, $t_{\text{HB}} = 20$ °С;

σ – величина розбігу колісної пари в залізничній колії, приймаємо $\sigma = 0,05$ м;

μ_{KO} – коефіцієнт тертя ковзання, $\mu_{\text{KO}} = 0,09 \dots 0,03$ [14];

Δd_K – нерівність діаметрів кругів кочення колісної пари, приймаємо $\Delta d_K = 0,1$ мм;

$\text{tg}\beta$ – похибка встановлення колісної пари в раму візка, приймаємо $\text{tg}\beta = 0,000625$.

Характеристики складових основного опору, розрахованих за формулами (1-5), наведені на рис. 1.

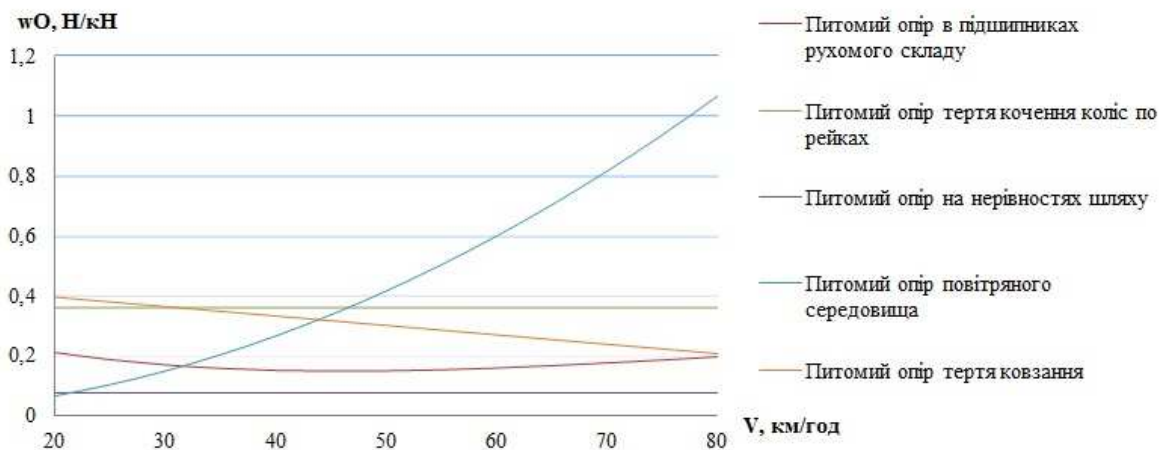


Рис. 1. Графічне відображення залежності питомих сил основного опору руху

Результуюче значення додаткового питомого опору є сумою питомих сил опору від уклонів (w_i) [2], кривих (w_r) [14], опору при рушанні з місця (w_{PM}) [2], низьких температур (w_{HT}) та вітру (w_B), вирази яких мають такий вигляд:

$$w_i = i, \quad (6)$$

$$w_r = \frac{200}{R} + 1,5 \left| \frac{V^2}{12,96R} - \frac{h}{S_K} g \right|, \quad (7)$$

$$w_{PM} = \frac{280}{q_o + 70}, \quad (8)$$

$$w_{HT} = w_o (k_{HT} - 1), \quad (9)$$

$$w_B = w_o (k_B - 1), \quad (10)$$

де i – крутизна результуючого підйому, $i = 1\%$;

R – радіус кривої, $R = 800$ м;

h – різниця між висотами голівок рейок, $h = 60$ мм;

S_K – відстань між кругами кочення колісної пари рухомого складу, $S_K = 1600$ мм;

k_{HT} – коефіцієнт впливу низьких температур, при температурі -30°C за даними [2];

k_B – коефіцієнт впливу повітряних мас (вітру), при швидкості вітру 6 м/с за даними [2].

Характеристики складових додаткового питомого опору, розрахованих за формулами (6-10), наведені на рис. 2.

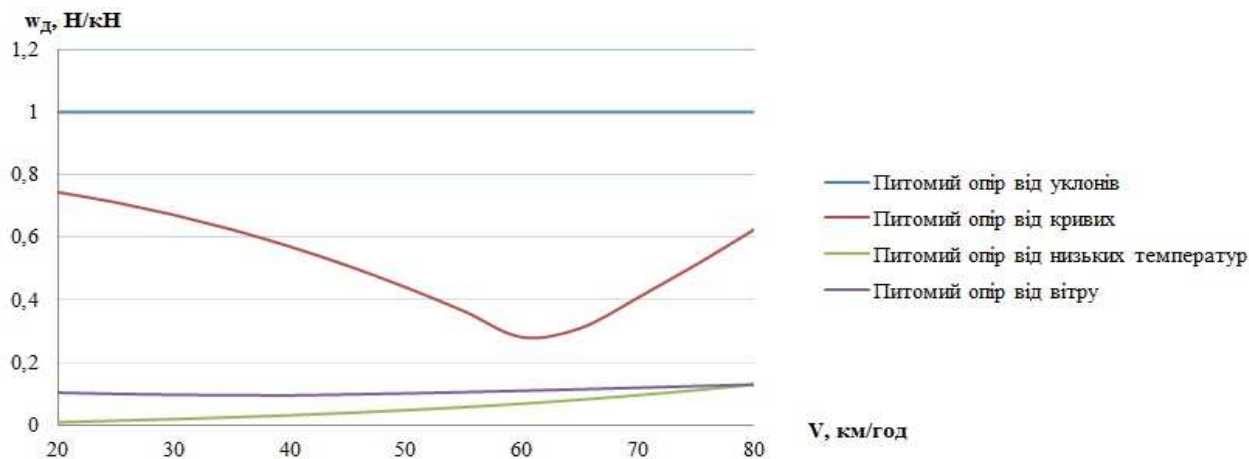


Рис. 2. Графічне відображення залежності питомих сил додаткового опору руху

Як видно з виразів (1-10), кількість складових в загальному рівнянні опору руху є досить великою, тому з метою можливості обчислень приймемо до розгляду тільки прямі ділянки перегонів та використаємо припущення, що рівняння опору локомотива нам відоме. Це рівняння можливо обчислити при прямуванні локомотива резервом чи при прямуванні з відомими значеннями вагонів. Математична обґрунтованість вказаного твердження базується на малій кількості зчпної маси поїзних локомотивів порівняно з вагою поїзда та виразом $P \cdot (P + Q)^{-1}$. Використаємо закон збереження механічної енергії для визначення характеру впливу результуючої суми сил в процесі переміщення поїзда у просторі:

$$E = \frac{mV_2^2}{2} - \frac{mV_1^2}{2} + mgh_2 - mgh_1, \quad (11)$$

де E – значення зміни механічної роботи, Дж;

V_1, V_2 – швидкість на початку та в кінці елемента профілю, км/год;

m – маса поїзда, кг;

h_1, h_2 – відповідно висоти на початку та в кінці елемента профілю, м.

Механічна робота, яку виконує поїзд, рухаючись по колії, має вигляд

$$E = F \cdot S, \quad (12)$$

де F – сила, що діє на рухомий склад, Н;
 S – довжина ділянки переміщення, м.

Відповідно до 2-го закону Ньютона вираз для сили буде мати вигляд

$$F = m \cdot a, \quad (13)$$

де a – прискорення руху, м/с².

Згідно з роботою [2] прискорення руху має вираз

$$a = \xi \cdot (f_K - w - b_T), \quad (14)$$

де ξ – коефіцієнт питомого прискорення,

$$\xi = 0.00926 \frac{m/c^2}{H/kH} [2];$$

f_K – питома сила тяги, Н/кН;

w – питомі сили опору руху, Н/кН;

b_T – питомі гальмівні сили, Н/кН.

Підставимо формули (12)–(14) у вираз (11), тоді він буде мати вигляд

$$m \cdot \xi \cdot (f_K - w - b_T) \cdot S = \frac{mV_2^2}{2} - \frac{mV_1^2}{2} + mgh_2 - mgh_1 . \quad (15)$$

Виконаємо перетворення та скорочення виразу (15) таким чином, щоб у лівій частині рівняння отримати питомі сили опору руху поїзда, а в правій – залишкові та кінетично-потенційний вплив, що виник у процесі переміщення рухомого складу. Тоді рівняння буде мати вигляд

$$w = f_K - b_T - \frac{V_2^2 - V_1^2 + g \cdot (h_2 - h_1)}{2\xi S} . \quad (16)$$

Розглянемо кінетично-потенційний вплив на базі науково-технічного прогресу супутникової навігації та встановлених на локомотиви серії ВЛ11 депо приписки ТЧ-9 Лозова та ТЧ-10 Харків-Сортувальний блоки позиціонування GPS/ГЛОНАСС. Загальний вигляд схеми роботи такої системи наведений на рис. 3. Порівняльна характеристика систем з параметрами необхідних даних, отриманих із праць [1, 4, 7, 16], для закону збереження механічної енергії подана в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняльна технічна характеристика систем навігації GPS/ГЛОНАСС

Параметр	СРНС ГЛОНАСС	GPS NAVSTAR
Похибка визначення місця розташування, м	1 «ЛЮЧ»	16 (Р-код)
Похибка визначення швидкості руху, м/с	0,15	0,1
Похибка визначення часу	0,7 мкс	90 нс (Р-код)
Мінімальний період повторення запиту, мс	1	1 (С/А-код)
Надійність отриманих даних, %	99,7	95

Оскільки параметр «місце розташування» є дисперсією позиціонування рухомого складу у просторі, рух залізничного транспорту в загальному вигляді є поступальним, розрахункова швидкість ВЛ11 47,1 км/год та розрахунки програмного комплексу «Тягові розрахунки» мають практичний інтервал у 5 с, тоді похибка шляху складе $S \cong 1 м (glonass) \forall V = 47.1 км/год$. У свою чергу похибка швидкостеміра ЗСЛ-2М є

близькою до цього. Тому вважатимемо розрахунки на основі даних супутникової системи як ті, що входять до довірчого інтервалу. Результатом вказаного твердження є $\frac{V_2^2 - V_1^2 + g \cdot (h_2 - h_1)}{2\xi S} = const$ на кожному розглянутому інтервалі часу. Місце відстеження параметрів (трекінг) та характеристика залежності швидкості від шляху наведені на рис. 3.

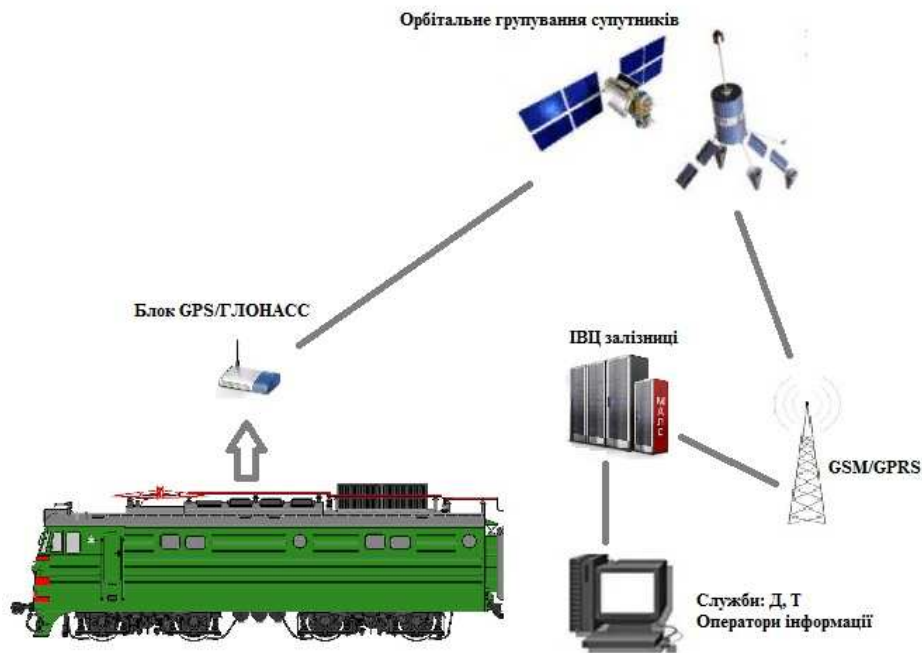


Рис. 3. Загальний вигляд схеми роботи системи супутникової навігації GPS/ГЛОНАСС

В результаті обчислень за формулою (16) та методом найменших квадратів [15] (для отримання рівняння третього порядку)

одержали вираз реального основного питомого опору вантажних вагонів поїзда:

$$\omega''_o = 0,00000188 \, 9V^3 - 0,0000V^2 + 0,00575737 \, V + 0,95027236 \, 2 \quad (17)$$

Отримані значення питомих сил основного та додаткового опору, наведених на рис. 1 та 2, зіставимо з реальними значеннями, перерахованими за формулою (17). Різниця результатів є впливом технічного стану, оскільки питомий додатковий опір від низьких температур та вітру (згідно з даними метеорологічної служби температура складала 20°C , а швидкість вітру – $0,7 \text{ м/с}$) не мав істотного впливу. $w_{пов}$ є умовно постійними протягом всього життєвого циклу рухомого складу. Наступним етапом є наближення параметрів питомого тертя в підшипниках рухомого складу ($w_{ТП}$), тертя кочення коліс по рейках ($w_{ТК}$) та опору на нерівності шляху ($w_{НШ}$) за D_K , Δd_K , $tg\beta$, алгоритм

виконання якого зображуємо на рис. 4 та здійснюємо за принципом виконання системи рівнянь:

$$\begin{cases} w''_o(V) - w''_o^*(D_K \pm \Delta D_K, V) \rightarrow \min \\ w''_o(V) - w''_o^*(\Delta d_K \pm \Delta(\Delta d_K), V) \rightarrow \min \\ w''_o(V) - w''_o^*(tg\beta \pm \Delta tg\beta, V) \rightarrow \min \end{cases} \quad (18)$$

де $w''_o(V)$ – функція зміни реального опору, $H/\kappa H$;

$w''_o^*(D_K \pm \Delta D_K, V)$ – функція зміни приросту від діаметра колеса, $H/\kappa H$;

$w''_o^*(\Delta d_K \pm \Delta(\Delta d_K), V)$ – функція зміни приросту від нерівномірного зносу колеса, $H/\kappa H$;

$w_o^*(tg\beta \pm \Delta tg\beta, V)$ – функція зміни приросту від неперпендикулярності осі колісної пари візку рухомого складу, $H/\kappa H$.

В результаті трекінгу та розрахунку на перегоні Шебелинка-Занки (рис. 5) встановлено залежність (17). Підставивши цю залежність у вираз загального питомого опору поїзда, було перетворено вираз (16) таким чином, щоб в лівій частині отримати питому силу тяги. Отримані значення питомої сили тяги були помножені на вираз $P + Q$. В результаті цього визначені реальні значення сил тяги локомотива. Зробивши

аналіз отриманих розрахунків, було встановлено зниження сили тяги ВЛ11 на 5,7 % порівняно з даними тягово-енергетичного паспорту на П-ПП позиції. Розглянутий основний питомий опір вагонів, який був отриманий за виразом (17), та наближена сума сил основного опору вагонів (1)–(5) згідно з системою рівнянь (18) і алгоритмом (рис. 4) дозволили визначити основні технічні характеристики колісних пар вагонів: середній діаметр колісної пари – 940 мм, нерівномірність зносу коліс – 1,5 мм.

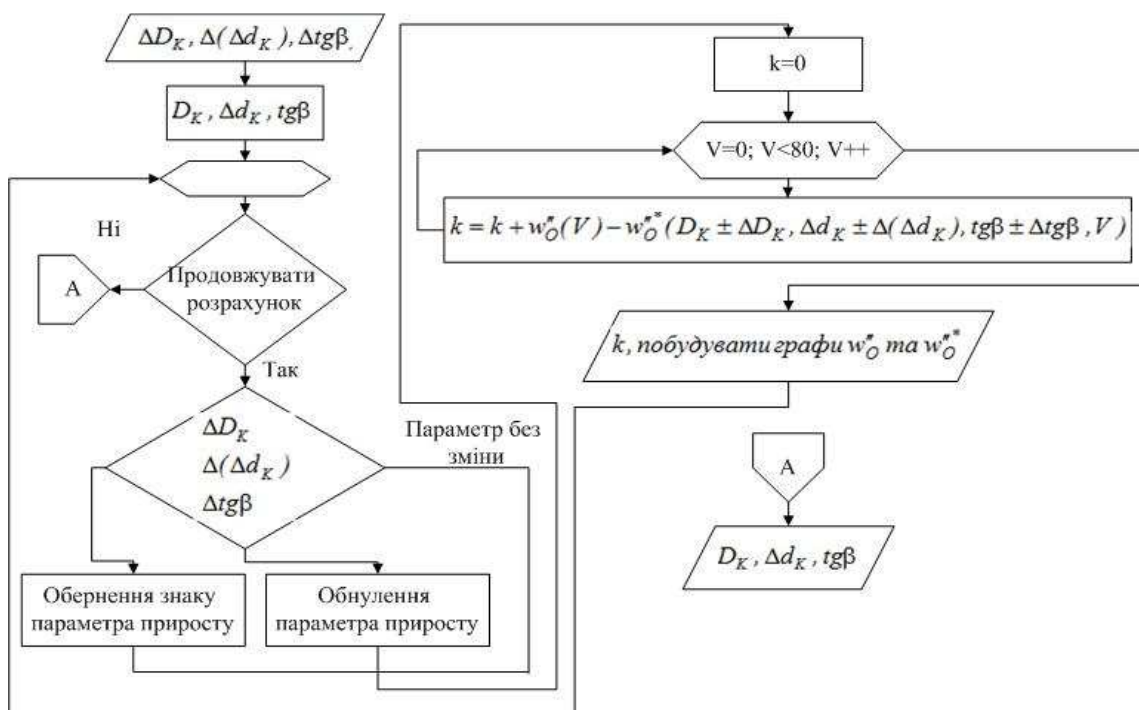


Рис. 4. Алгоритм наближення суми (1)–(5) питомих сил опору вагонів до реальної кривої сил основного опору при розв’язанні системи рівнянь (18)

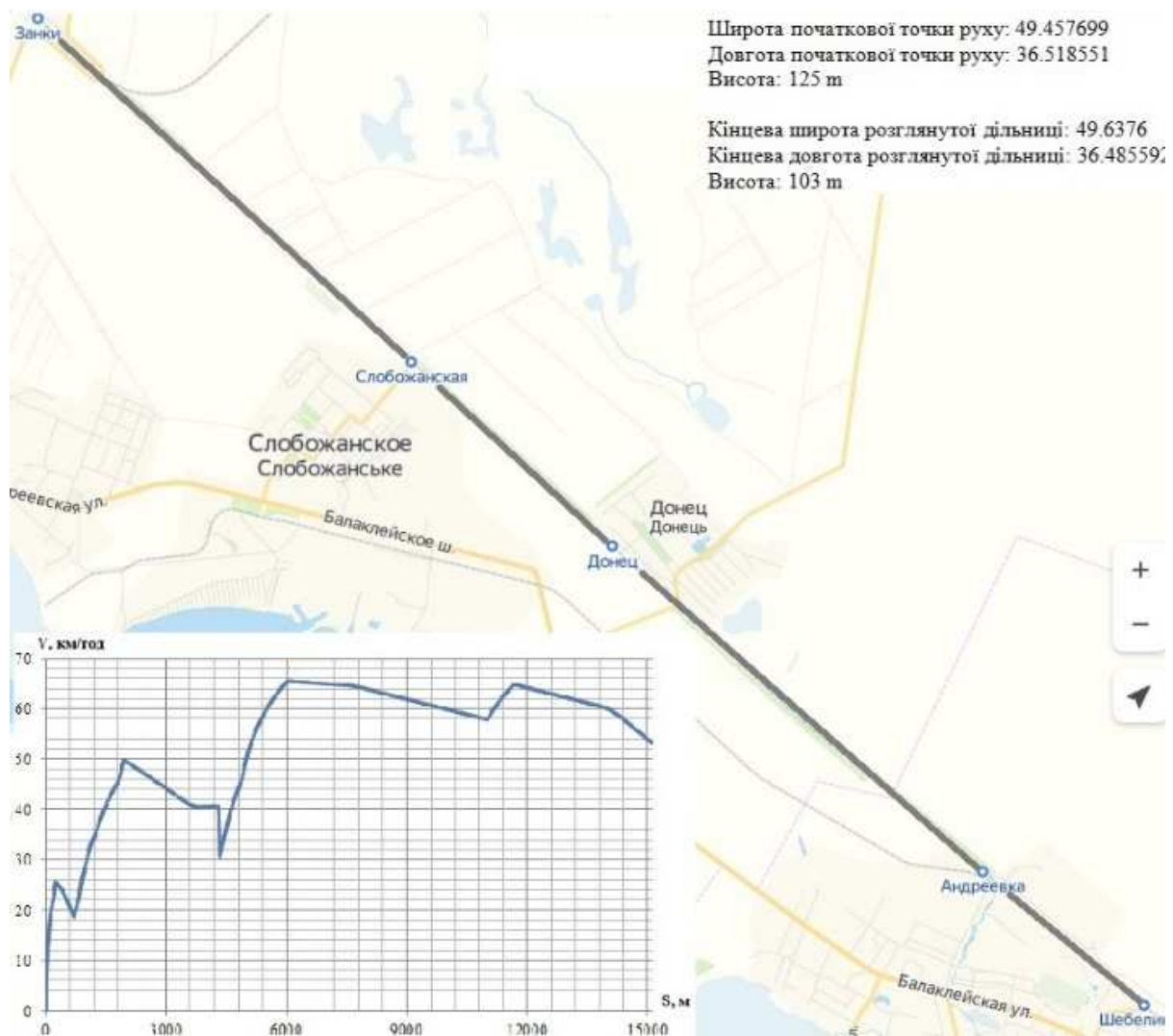


Рис. 5. Трекінг переміщення поїзда № 3608 з побудованою залежністю швидкості від шляху та координатами початку і кінця відстеження

Особливістю даної роботи є необхідність використання спеціаліста для коригування кривих. Однак отримані залежності можливо застосувати в програмному комплексі «Тягові розрахунки», встановивши оптимальні витрати паливно-енергетичних ресурсів на тягу поїздів.

Висновки. В результаті проведеної роботи встановлене реальне значення сил основного опору вагонів та доведена можливість отримання його в поточному режимі часу на основі інформації з систем глобального позиціонування, інтегрованих на локомотиви ВЛ11. Основою для цього

став закон збереження механічної енергії, двосторонній ефект якого дав можливість встановити зниження реальних значень сил тяги у вказаному діапазоні швидкостей на 5,7 %. Вказані твердження можуть знайти відображення в оптимізації витрат палива на тягу поїздів. Розрахунки технічного стану, проведені в роботі, показали середній діаметр колісної пари в 940 мм, нерівномірність зносу коліс – 1,5 мм. Також вказані твердження можуть знайти відображення у визначенні оптимальних міжремонтних періодів для рухомого складу. В подальшому доцільно на основі запропонованих алгоритмів та отриманих

залежностей розробити і впровадити програмне забезпечення в АРМ локомотивного господарства з метою

встановлення раціональних витрат на тягу поїздів.

Список використаних джерел

1. Xingxing Li, Xiaohong Zhang, Xiaodong Ren, Mathias Fritsche, Jens Wickert, Harald Schuh. Precise positioning with current multi-constellation Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou. *Scientific reports*. Vol. 4. 2015. February. P. 1-14.
2. Осипов С. И., Осипов С. С. Основы тяги поездов: учебник для студентов техникумов и колледжей железнодорожного транспорта. Москва: УМК МПС России, 2010. 592 с.
3. Оценка жизненного цикла / Э. Д. Тартаковский, А. П. Фалендыш, Ю. Е. Калабухин, С. Г. Грищенко. *Локомотив-информ: научный журнал*. 2013. № 2 (80). С. 56-60.
4. Ермилов Р. В. Особенности спутниковой навигации системы ГЛОНАСС. *Психолого-педагогический журнал Гаудеамус*. 2012. № 2(20). С. 199-200.
5. Фалендиш А. П., Сумцов А. Л., Артеменко О. В. Програмный комплекс wyboru системи технічної експлуатації маневрового тепловоза. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2016. № 1. С. 54-61.
6. Черемисин В. Т. Роль информационных технологий в обеспечении надежности локомотива. *Локомотив*. 2017. № 9. С. 2-4.
7. Chen X., Lu C., Guo B., Guo F., Ge M., Li X., Schuh H. GPS/GLONASS Combined Precise Point Positioning With the Modeling of Highly Stable Receiver Clock in the Application of Monitoring Active Seismic Deformation. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 123. 2018. May. P. 4025-4040.
8. Pečáček P., Sága M. Controlling of local search methods' parameters in memetic algorithms using the principles of simulated annealing. *Proc. Eng.* Vol. 136. 2016. April. P. 70-76.
9. Математичне моделювання основних параметрів у тягових розрахунках / А. П. Фалендиш, В. О. Гатченко, С. В. Возненко, О. В. Клецька, М. А. Барибін. Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології». 2020. № 35. С. 102-112.
10. Правила тяговых расчетов для поездной работы: приказ № 867р. Утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 12.05.2016. Москва, 2016. 510 с.
11. Марюхненко В. С., Пультяков А. В. Особенности контроля технического состояния подвижного состава на ходу поезда. *Автоматика на транспорте*. 2016. № 2(2). С. 272-286.
12. ЦТ-3921. Инструкция по эксплуатации и ремонту локомотивных скоростемеров ЗСЛ-2М и приводов к ним. Утв. заместителем министра путей сообщения В. Ф. Сосниным 15.08.1980. Москва, 1980. 143 с.
13. Safna F., Sunny R. Artificial Neural Network Based Data Mining. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*. Vol. 5(4). 2015. June. P. 240-245.
14. Анисимов В. А., Анисимов В. В. Тяговые расчеты: монография. Хабаровск, 2013. URL: <https://www.sites.google.com/site/tagapoezd/monografia>.
15. Кудрявцев Л. Д. Курс математического анализа. Москва: Дрофа, 2003. 703 с.
16. Воронов Ю. Е., Косолапов А. В. Сравнение спутниковых навигационных систем применяемых на автомобильном транспорте. *Вестн. Кузбасского гос. техн. ун-та. Автомобильный транспорт*. 2004. № 112. С. 80-85.

Барибін Микола Анатолійович, аспірант кафедри теплотехніки, теплових двигунів та енергетичного менеджменту Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0002-1397-7852. Тел.: 0632967498. E-mail: kanifoli4.92@gmail.com.

Фалендиш Анатолій Петрович, д-р техн. наук, професор кафедри транспортних технологій підприємств ДВНЗ Приазовського державного технічного університету. ORCID iD: 0000-0003-3602-7945. Тел.: 0503032039.
E-mail: fap_hiit@ukr.net.

Гатченко Вікторія Олександрівна, канд. техн. наук, доцент кафедри тягового рухомого складу залізниць Державного університету інфраструктури і технологій. ORCID iD: 0000-0002-9868-3852. Тел.: 0508211506.
E-mail: vogatchenko@gmail.com.

Клецька Ольга Віталіївна, канд. техн. наук, доцент кафедри транспортних технологій підприємств ДВНЗ Приазовського державного технічного університету. ORCID iD: 0000-0002-4682-860X. Тел.: 0957466579.
E-mail: gurao@ukr.net.

Кіріцева Олена Вікторівна, асистент кафедри транспортних технологій підприємств ДВНЗ Приазовського державного технічного університету. ORCID iD: 0000-0002-2481-5883. Тел.: 0672894661.
E-mail: evkiritseva@gmail.com.

Barybin Nikolay, postgraduate student, Department of Heat Engineering, Heat Engines and Energy Management, Ukrainian state University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0002-1397-7852. Phone: 0632967498.
E-mail: kanifoli4.92@gmail.com.

Falendysh Anatoliy, D. Sc. (Tech.), Professor, Department of Transport Technologies of Enterprises, Pryazovsky State Technical University. ORCID iD: 0000-0003-3602-7945. Phone: 0503032039. E-mail: fap_hiit@ukr.net.

Hatchenko Victoria, PhD (Tech.), Associate Professor, Department of Traction Rolling Stock of Railways, State University of Infrastructure and Technology. ORCID iD: 0000-0002-9868-3852. Phone: 0508211506.
E-mail: vogatchenko@gmail.com.

Kletska Olha, PhD (Tech.), Associate Professor, Department of Transport Technologies of Enterprises, Azov State Technical University. ORCID iD: 0000-0002-4682-860X. Phone: 0957466579. E-mail: gurao@ukr.net.

Kiritseva Elena, Assistant Professor, Transport Technologies of the Enterprises, State University Pryazovskyi State Technical University. ORCID iD: 0000-0002-2481-5883. Phone: 0672894661. E-mail: evkiritseva@gmail.com.

Статтю прийнято 10.09.2020 р.