

Барибін М.А., Фалендиш А.П., Іванченко Д.А., Клецька О.В., Карашук В.О.

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЯГОВИХ РОЗРАХУНКІВ ТА ОЦІНКИ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА БАЗІ ІНФОРМАЦІЇ З СИСТЕМ ГЛОБАЛЬНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ

У статті розглянуті питання економічної доцільності застосування тягового рухомого складу залізничного комплексу країни. Зображений алгоритм виконання тягових розрахунків та відображено графічно елементи зміни розглянуті в роботі. Проаналізовано характеристики кривих питомих сил опору локомотива та вагонів в історичному контексті та згідно основних документів з тягових розрахунків. Встановлена необхідність застосування систем глобального позиціонування для визначення реальних тягових характеристик тягового рухомого складу, а також апроксимованого рівняння основного питомого опору вагонів. Запропоновані вирази для обчислення переміщення поїзда у гірських та бугристих умовах рельєфу. На базі методу найменших квадратів визначені формули для обліку невідомих коефіцієнтів рівнянь. Впроваджена методика визначення похибки асимптоти наближення реальних отриманих значень до кривих визначеного виду. На базі отриманої інформації з систем глобального позиціонування вантажного поїзда під тягою ВЛ11 на перегоні «Шебелинка-Занки» було встановлене реальне рівняння опору вагонів та похибка; а також визначені в швидкісному діапазоні рівняння гіперболічних кривих сил тяги локомотива, похибки та графічно відображено порівняльні результати обчислень і паспорту тягового рухомого складу. Встановлено зниження сил тяги та питомого опору вагонів. На базі результатів зроблено порівняльну переоцінку маси поїзда, маси поїзда при русі та за довжиною прийнятно-відправних колій. Зроблено рекомендації по зниженню встановлених вагових норм для локомотиву ВЛ11 на вказаному та інших плечах обслуговування, чи використовувати інерційні властивості поїзда і тягові особливості профіля. Запропоновано у подальшому впровадити математичне моделювання та засоби електронно-обчислювальної техніки у локомотивне господарство.

Ключові слова: GPS/ГЛОНАСС, тягові розрахунки, питомі сили, математичне моделювання, локомотив.

Актуальність дослідження. В сучасному залізничному транспорті тягові розрахунки слід розглядати як велику взаємопов'язану систему з характерними властивостями, врахування яких має велике значення для визначення стратегії, розвитку і функціонування економіки країни. Для сучасного етапу розвитку електронно-обчислювальної техніки характерні швидке кількісне зростання і якісна зміна апаратного та програмного забезпечення, що вимагає від залізниць активного впровадження, експлуатації та роботи на перспективу в контексті мінімізації витрат енергоресурсів на тягу, збільшенні пропускної здатності залізниць та максимізації використання існуючих транспортних засобів.

Постановка проблеми. В цих умовах особливо важливим стає підхід визначення реальних кривих опору руху, тягових характеристик та вагових норм дільниць обслуговування. Необхідно також враховувати вплив технічного стану, екологізацію розвитку суспільства та соціально-політичну відповідальність АТ «Укрзалізниця». Тому з метою підвищення конкурентної здатності та повного технічного використання основних фондів залізниць важливим є дослідження з удосконалення тягових розрахунків та оцінки технічних характеристик на базі інформації з систем глобального позиціонування.

Теоретичний аналіз дослідження. Не дивно, що безліч робіт та авторів було присвячено окресленій тематиці. Найважливішим документом з них є Правила тягових розрахунків (ПТР) [1], в яких описано концепт методології проведення обліку всіх параметрів руху, приведені основні тягові характеристики рухомого складу (РС) та величини коефіцієнтів впливу. Проте розвиток науково-технічного прогресу вимагає переоцінки застарілих рівнянь та пошуку нових для модернізованого, з продовженим терміном експлуатації та нового РС.

Як зазначено в праці [2] - для початку необхідно встановити динамічний вплив колії на РС з використанням засобів реєстрації підвищеної точності. Наступним кроком є переоцінка існуючої методології ПТР, накопиченого досвіду експлуатації та формулювання концепту розвитку теорії локомотивної тяги, що добре висвітлена в працях [3-5]. Оскільки найбільш важкими, для аналізу, параметрами є ті що виникають в процесі руху поїзда та наявне велике амплітудне, частотне й електромагнітне забруднення – то виникає потреба методології контролю технічного стану в русі поїзда, що добре висвітлена в працях [6-7]. На базі вказаних методів була виконана переоцінка ПТР та заміна його документом [8], що відповідав розвитку інтелектуального рівня того часу. Проте час і науково-технічний прогрес не стоїть на місці що вимагає нової переоцінки.

В країнах західної півкулі та південно-східної Азії слід відмітити працю [9] – в якій сформована необхідність в постійному контролі характеристик РС та методологія проведення такого моніторингу. Автори в [10] використовують в якості контролю системи глобального позиціонування GPS/ГЛОНАСС проте лише для диспетчерських вимог. Вплив електронного бортового обладнання та нейтронних сіток добре описаний в [11]. Засоби обробки отриманої інформації та характеристика їх точності непогано висвітлена в джерелі [12]. Проте всі вони не стосуються існуючих реалій АТ «Укрзалізниця» та не мають тягового спрямування.

Серед вітчизняних авторів тягової тематики слід відмітити праці [13-14], методологічний опис яких дозволяє встановити підходи до оптимізації витрати паливно-енергетичних ресурсів на тягу поїздів на базі існуючих характеристик локомотивів і вагонів. Проте не встановлюють самі характеристики в режимі реального часу, а лише після всебічних випробувань РС.

На відміну від попередніх праць в [15-17] реалізований контент наявного парку залізничного транспорту України, розроблені унікальні підходи, розробки режимних карт ведення поїзда та запропонована автоматизована система тягових розрахунків. Основним недоліком вказаного програмного комплексу є відсутність масової практичної апробації, протягом значного відрізка часу, на виробництві. Проте в подальшому це можливо виправити. Головною перевагою є гнучкість програмного модулю та його адаптивність змінним умовам експлуатації. Вказаний принцип пропонується використати при врахуванні динамічних параметрів з систем глобального позиціонування чи автоматизованих електронних бортових систем контролю параметрів руху поїзда, що вимагає встановлення математичних методів подібних маніпуляцій.

Мета статті. Проаналізувати методику трекінгу вантажного поїзда та встановити реальні криві питомого опору вагонів і повної сили тяги локомотива, встановити вплив отриманих параметрів на методологію тягових розрахунків та переоцінки вагових норм вантажних поїздів.

Задачі дослідження. Для досягнення зазначеної мети необхідно: встановити параметри реєстрації систем глобального позиціонування; визначити характеристику типу рівнянь кривих, методологію пошуку невідомих змінних та похибки апроксимації обчислень; провести визначення реальних значень кривих сили тяги та питомого опору руху вагонів й графічно відобразити; встановити критеріальні результати та виконати перевірку розрахунку вагової норми «Південної залізниці» на вказаному плечі.

Викладення основного матеріалу дослідження. В загальному виді методологію тягових розрахунків можливо представити у вигляді блок-схеми – зображення якої наведено на рисунку 1.

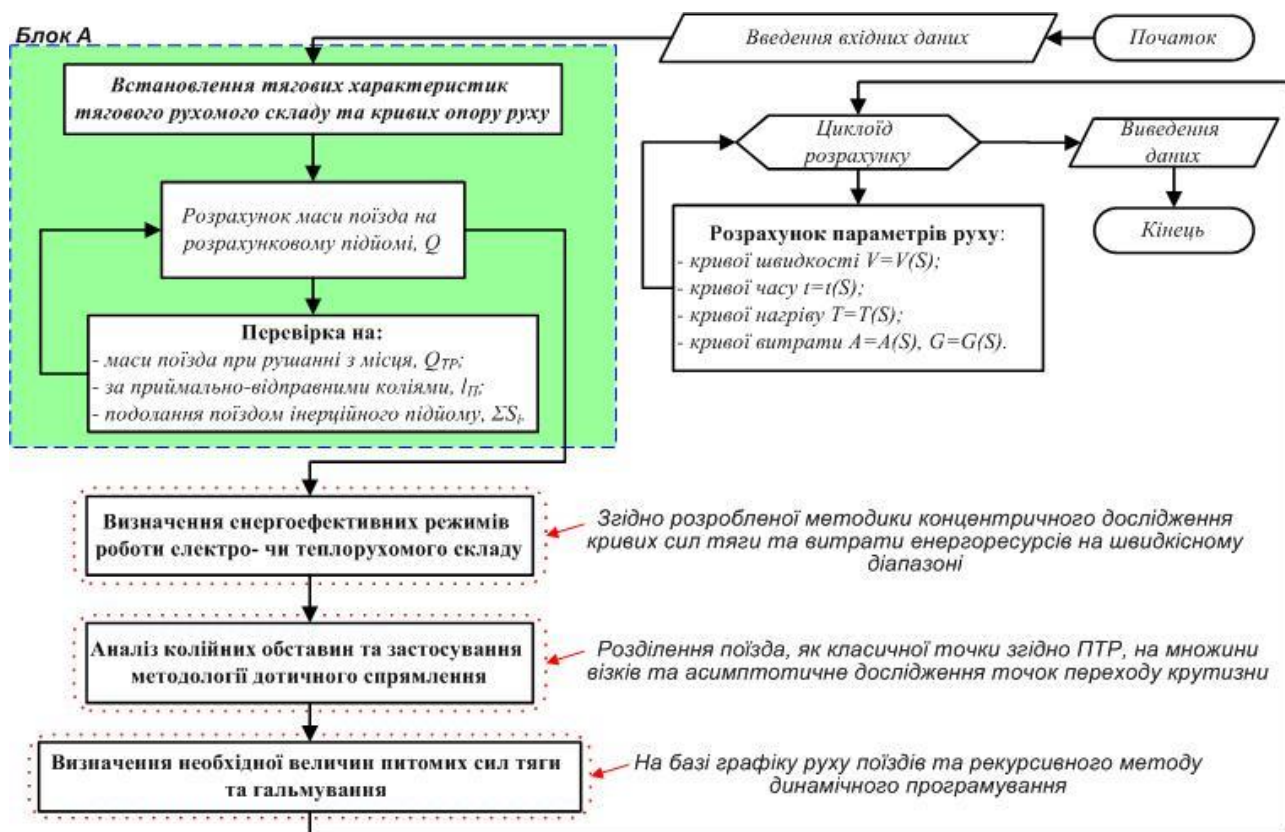


Рисунок 1 – Блок-схема виконання тягових розрахунків

В подальшому для розгляду в даній роботі буде проаналізовано лише вплив «Блоку А». Для цього пропонується зробити переоцінку тягової характеристики тягового РС та кривої основного опору вагонів на базі зміни параметрів координат об'єкту супутникового моніторингу. Дана методика дозволить встановити реальні криві характеристики руху РС та як наслідок – величину ваги вантажного поїзда, з метою максимізації використання потужності локомотива та зниження собівартості перевезень одиниці продукції транспорту залізничного комплексу України.

Графічне відображення роботи систем глобального позиціонування GPS/ГЛОНАСС, встановлених на вантажні локомотиви Регіональної філії «Південна залізниця» депо приписки ТЧ-9 Лозова та депо експлуатації ТЧ-10 Харків-Сортувальний наведено на рисунку 2.



Рисунок 2 – Загальний вид схеми роботи системи глобального позиціонування тягового рухомого складу

Фактично реєструємі параметри (координати об'єктів – широта, довгота, висота над рівнем моря, інтервал фіксації, швидкість та шлях) потребують суттєвого аналізу. Дисперсія швидкості, в залежності від типу системи глобального позиціонування, має інтервал значень $[0,1; 0,15]$ м/с – це не задовольняє параметрам точності фіксації у порівнянні з електронними швидкостемірами (на швидкостях руху ≤ 20 км/год) та має більшу точність ніж у механічного ЗСЛ-2М. Аналіз локомотивного парку АТ «Укрзалізниця» вказує що кількість електронних систем фіксації параметрів руху локомотива має досить незначну величину, основна частина обладнана застарілими механічними системами що знаходяться у плачевному стані. Іншим параметром є інтервал фіксації (час між замірами) який має довірчі значення в діапазоні $[90 \text{ нс}; 0,7 \text{ мкс}]$. Похибка визначення координат, при швидкості руху 47,1 км/год й інтервалі фіксації 5 с складає 1 м (величина близька до похибки швидкостеміра ЗСЛ-2М - [18]), заснована на рельєфі місцевості руху транспортних потоків. Особливу увагу необхідно приділяти гірським та горбистим рельєфам оскільки висоту над рівнем моря точно можливо визначити лише при знаходженні супутників в зеніті над об'єктом фіксації. Оскільки залізничний транспорт, на відміну від інших, жорстко прив'язаний до колійної інфраструктури, яка має статичні координати (за винятком зміщень викликаних температурними розширеннями та зміщеннями колії в процесі багаторічної тягово-гальмівного руху), пропонується перераховувати, графічна інтерпретація методології обліку наведена на рисунку 3, для складних умов пройдений шлях об'єкта фіксації з модифікацією виразу:

$$S = \sqrt{(Latitude_2 - Latitude_1)^2 + (Longitude_2 - Longitude_1)^2 + (Height_2 - Height_1)^2}, \quad (1)$$

де $Latitude_2, Latitude_1$ - відповідно широта в кінцевій та початковій точці моніторингу, м;

$Longitude_2, Longitude_1$ - відповідно довгота в кінцевій та початковій точці моніторингу, м;

$Height_2, Height_1$ - відповідно висота над рівнем моря в кінцевій та початковій точці моніторингу, м.

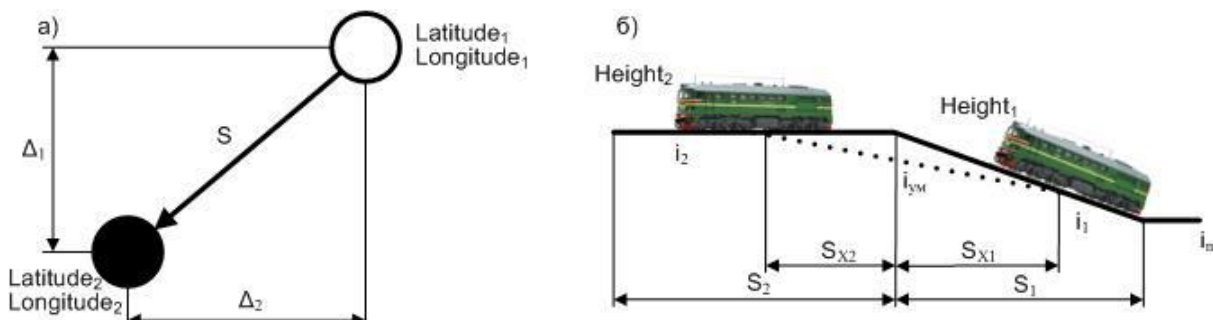


Рисунок 3 – Схема просторової координації роботи системи глобального позиціонування тягового рухомого складу при: а) погляді зверху (вплив широти та довготи); б) погляд збоку (вплив висоти над рівнем моря)

Тоді при впливі статичності та особливостей рельєфу, з прив'язкою до класичної крутизни профілю згідно ПТР, формула шляху буде мати вид:

$$S = \sqrt{(Latitude_2 - Latitude_1)^2 + (Longitude_2 - Longitude_1)^2 + \left(\frac{S_{x1} \cdot i_1 + S_{x2} \cdot i_2}{1000} \right)^2}, \quad (2)$$

де i_1, i_2 - відповідно крутизна першого та другого елемента профіля, ‰;

S_{x1}, S_{x2} - відповідно протяжність руху по першому та другому елементі профілю, м;

1000 – перевідна величина крутизни профілю.

В загальному виді тягова характеристика рухомого складу є гіперболою, отже рівняння й питомої сили тяги буде мати вид:

$$f_K = a + \frac{b}{V}, \quad (3)$$

де V – швидкість (параметр осі абсцис), км/год;

a, b – коефіцієнти рівняння.

Визначення невідомих коефіцієнтів рівнянь для гіперболічної функції питомої сили тяги пропонується визначати за виразами:

$$a = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n f_{K_i} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{V_i} \right)^2 - \sum_{i=1}^n \frac{1}{V_i} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{f_{K_i}}{V_i}}{n \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{V_i} \right)^2 - \sum_{i=1}^n \frac{1}{V_i} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{V_i}}, \quad (4)$$

$$b = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n \frac{f_{K_i}}{V_i} - \sum_{i=1}^n \frac{1}{V_i} \cdot \sum_{i=1}^n f_{K_i}}{n \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{V_i} \right)^2 - \sum_{i=1}^n \frac{1}{V_i} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{V_i}}, \quad (5)$$

де i – лічильник вимірів; n – кількість вимірів;

Тоді похибка обчислень питомої сили тяги буде врахована за виразом:

$$\Delta = \frac{\sum_{i=1}^n \left| f_{K_i} - a - \frac{b}{V_i} \right|}{n \cdot \sum_{i=1}^n f_{K_i}} \cdot 100\%, \quad (6)$$

Згідно методики, викладеній в ПТР, рівняння питомих сил опору руху є поліном другого порядку:

$$\varpi = a \cdot V^2 - b \cdot V - c, \quad (7)$$

де a, b, c – коефіцієнти рівняння.

З іншого боку визначення питомих сил опору обчислюється за формулою:

$$\varpi = \frac{P \cdot \varpi'_O + Q \cdot \varpi''_O}{P + Q} + \varpi_D, \quad (8)$$

де P, Q – відповідно вага локомотива та состава, т;

ϖ'_O - основний питомий опір локомотива, згідно ПТР для електровозів в режимі тяги

$\varpi'_O = 1,9 + 0,008 \cdot V + 0,00025 \cdot V^2$, вибігу - $\varpi'_O = 2,4 + 0,009 \cdot V + 0,00035 \cdot V^2$, Н/кН;

ϖ''_O - основний питомий опір вагонів, Н/кН;

ϖ_D - питомий додатковий опір від уклонів, кривих, опору при рушанні з місця, від низьких температур та вітру, Н/кН.

Використання паспортного значення основного питомого опору локомотива (з ПТР) засноване на великій кількості невідомих рівняння, відносно невеликому масовому впливі тягового рухомого складу відносно маси

поїзда ($\frac{P}{P+Q} \cdot \varpi'_O < \frac{Q}{P+Q} \cdot \varpi''_O$) та апаратних можливостях персональної електронно-обчислювальної техніки.

Встановлення реальних значень коефіцієнтів рівняння можливе при слідуванні одиночному слідуванні (резервом, тобто в технічно-справному стані та знаходження самохідної одиниці в диспетчерському списку можливої експлуатації) локомотива.

Величину додаткового питомого опору пропонується визначати за виразом:

$$\varpi_D = i + 200 \cdot R^{-1} + 1,5 \cdot \left| V^2 \cdot [12,96 \cdot R]^{-1} - h \cdot g \cdot S_K^{-1} \right| + 280 \cdot (q_0 + 70)^{-1} + \varpi_O \cdot (k_{HT} + k_B - 2), \quad (9)$$

де i - крутизна підйому чи спуску, ‰;

R - радіус кривої профіля, м;

q_0 - вісьове навантаження одиниці рухомого складу, т;

h - різниця між висотами голівок рейок, мм;

S_K - відстань між кругами кочення колісної пари рухомого складу, мм;

g - прискорення вільного падіння, $g = 9.8 \text{ м/с}^2$

k_{HT}, k_B - відповідно коефіцієнти впливу низьких температур та повітряних мас (вітру).

Врахуємо що основні питомі опори в ПТР є квадратичною характеристикою, тому наступна методика буде обчислювати невідомі коефіцієнти виразів:

$$\varpi'_O = a' \cdot V^2 + b' \cdot V + c', \quad (10)$$

$$\varpi''_O = a'' \cdot V^2 + b'' \cdot V + c'', \quad (11)$$

де $a', b', c', a'', b'', c''$ - відповідно невідомі коефіцієнти рівняння питомого опору локомотива та вагонів.

Тоді величина основного питомого опору в будь-який момент пройденої відстані буде:

$$\varpi''_O = \left(\frac{P}{Q} + 1 \right) \cdot \left[f_k - b_T - \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot \xi \cdot S} - \varpi_D - \frac{P}{P+Q} \cdot \left(a' \cdot \left[\frac{V_2 - V_1}{2} \right]^2 + b' \cdot \frac{V_2 - V_1}{2} + c' \right) \right], \quad (12)$$

де ξ - коефіцієнт питомого прискорення, для вантажного поїзда $\xi = 0.00926 \frac{\text{м/с}^2}{\text{Н/кН}}$;

b_T - питомі гальмівні сили, Н/кН.

Прирівнявши рівняння (11) та (12), складемо систему рівнянь для визначення невідомих коефіцієнтів:

$$\begin{cases} a'' \cdot \sum_{i=1}^n V_i^4 + b'' \cdot \sum_{i=1}^n V_i^3 + c'' \cdot \sum_{i=1}^n V_i^2 = \sum_{i=1}^n V_i^2 \varpi''_{O_i} \\ a'' \cdot \sum_{i=1}^n V_i^3 + b'' \cdot \sum_{i=1}^n V_i^2 + c'' \cdot \sum_{i=1}^n V_i = \sum_{i=1}^n V_i \varpi''_{O_i} \\ a'' \cdot \sum_{i=1}^n V_i^2 + b'' \cdot \sum_{i=1}^n V_i + c'' \cdot n = \sum_{i=1}^n \varpi''_{O_i} \end{cases}, \quad (13)$$

Тоді похибка обчислень основної питомої сили опору вагонів буде обчислена за формулою:

$$\Delta = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \varpi''_{O_i} - a'' \cdot V^2 - b'' \cdot V - c'' \right|}{n \cdot \sum_{i=1}^n \varpi''_{O_i}} \cdot 100\%, \quad (14)$$

Взаємозв'язок питомих та повних величин сил тяги поїзда буде обчислено формулою:

$$F_k = (P + Q) \cdot f_k \cdot g, \quad (15)$$

Вхідними даними для розрахунку стала інформація про вантажний поїзд вагою 4667 тон, у складі 4-ох вісних наливних цистерн вісьовим навантаженням 20,38 т/вісь при температурі оточуючого середовища -30°C , швидкості зустрічного вітру 6 м/с, на прямому перегоні «Шебелинка-Занки». В ролі тягової одиниці виступив локомотив ВЛ11. Відстань між кругами кочення прийнята 1600 мм. Інтервал фіксації – 5 с. Графічне відображення кривих швидкості і часу та трекінгу діапазону фіксації наведено на рисунку 4.

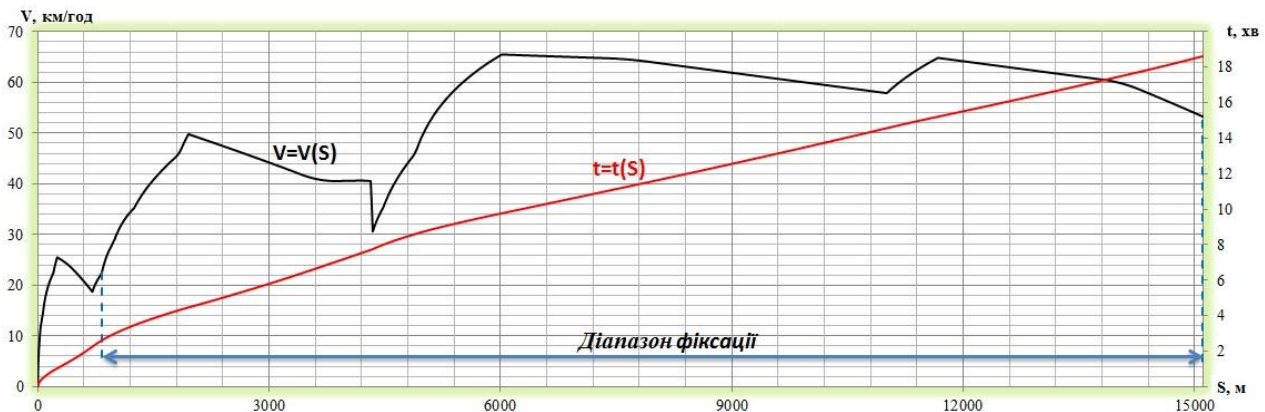


Рисунок 4 – Графічне відображення параметрів руху вантажного поїзда №3608 на перегоні «Шебелинка-Занки» та фіксованої ділянки трекінгу

В ході обчислень основного питомого опору вагонів визначено реальне рівняння вантажного поїзда, яке має вид:

$$\varpi''_O = 0,00009915 \cdot V^2 + 0,0420327 \cdot V + 0,87334037, \quad (16)$$

Похибка апроксимації обчислень, за формулою (13), склала $\Delta(\varpi''_O) = 0,0474$ (на вказаному діапазоні трекінгу). Результати розрахунку, модифіковані виразом (15), у швидкісному діапазоні трекінгу поїзда зведемо до таблиці 1.

Таблиця 1

Результуючі значення реальних кривих сил тяги локомотива ВЛ11-727

Діапазон збіжності швидкостей руху, км/год	Апроксимоване реальне рівняння сили тяги	Похибка апроксимації, %	Тип з'єднання
[22,987; 30,172]	$F_k = -581,0508 + \frac{22843,5687}{V}$	4,4906	СП
[30,172; 35,031]	$F_k = -503,653 + \frac{24731,1732}{V}$	4,635	СП-ОП2
[35,031; 47,023]	$F_k = -256,8107 + \frac{19967,7379}{V}$	4,3755	СП-ОП4
[47,023; 65,499]	$F_k = -620,3857 + \frac{48613,1404}{V}$	4,5746	ПП

Результати розрахунку реальних гіперболічних сил тяги на СП, СП-ОП2, СП-ОП4 та ПП з'єднаннях побудовані по точках (не за рівняннями з таблиці 1); основних питомих сил опору поїзда в режимі тяги та вибігу; паспортних значень одиниць РС наведено на рисунку 5.

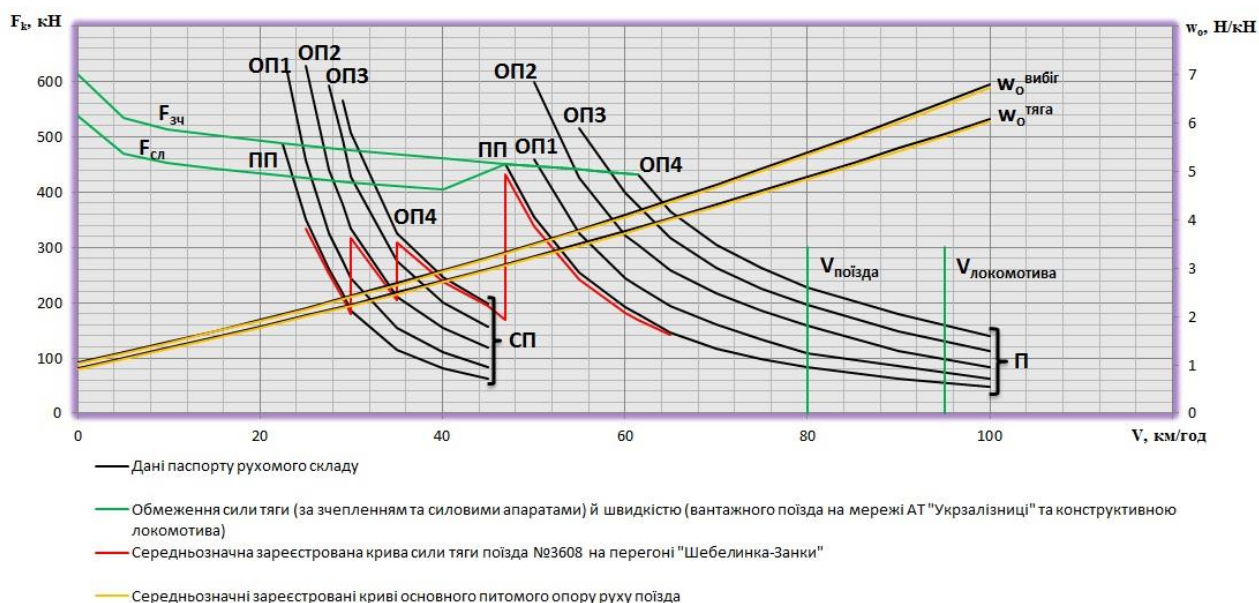


Рисунок 5 – Графічне співставлення результатів розрахунку та паспортних значень вантажного поїзда №3608

Отримані значення вказують на зменшення сил тяги електровозу ВЛ11 $\approx 4,05\%$, причиною якого може бути поганий технічний стан, зношеність деталей й вузлів та перепробіг заводського віку експлуатації тягового РС. Одночасно зафіксовано зниження питомого основного опору вагонів у порівнянні з даними ПТР в середньому на $\approx 8,99\%$, причиною цього може бути нові типи мастила в буксових вузлах у порівнянні з 1985 роком та малим аеродинамічним опором наливних вагонів-цистерн.

Виконаємо порівняння існуючих вагових норм на плечі обслуговування «Шебелинка-Основа» з розрахунковим підйомом $i_p = +5,7\text{‰}$ для отриманих тягових характеристик й за ПТР; а також з реальним рівнянням основного питомого опору вагонів та паспортним ($\varpi''_O = 0,00016 \cdot V^2 + 0,042 \cdot V + 1$). Розрахунок подолання поїздом інерційного підйому виконаний не буде в силу його відсутності на даному плечі.

Тоді розрахунок маси складу на розрахунковому підйомі буде визначатись за виразом:

$$Q = \frac{F_{KP}^{PMШ} - (w'_O + i_P) \cdot P \cdot g}{w''_O + i_P}, \quad (17)$$

де $F_{KP}^{PMШ}$ - сила тяги електровозу при розрахунково-мінімальній швидкості руху, Н.
Перевірку маси поїзда при рушанні з місця виконаємо за формулою:

$$Q_{TP} = \frac{F_{KP}^{PM}}{(w_{TP} + i_{TP}) \cdot g} - P, \quad (18)$$

де F_{KP}^{PM} - сила тяги електровозу при розрахунково-мінімальній швидкості руху, Н;
 w_{TP} - питомий опір при рушанні з місця, Н/кН;

Перевірка довжини за прийнятно-відправними коліями «Зміївського» парку вузлової станції Основа виконаємо за рівнянням:

$$l_{\Pi} = \sum_{i=1}^n n_i \cdot l_i + l_{лок} + 10, \quad (19)$$

де $l_i, l_{лок}$ – відповідно довжина вагону певного типу та довжина тягових одиниць в складі поїзда, м;
 n_i, n – відповідно кількість однотипних вагонів та кількість вагонів, шт;
10 – поправка на неточність зупинки та «стик», м.

Вхідними даними для розрахунку стали: довжина локомотива $l_{ВЛ11}=32,88$ м; довжина 4-ох вісного вагону-цистерни $l_{ВАГ}=12,02$ м; сила тяги електровозу при розрахунково-мінімальній швидкості руху $F_{KP}^{PMШ ВЛ11}=452000$ Н; сила тяги електровозу при рушанні з місця $F_{KP}^{PM ВЛ11}=614000$ Н; довжина прийнятно-відправних колій «Зміївського» парку $l_{\Pi}=1200$ м. Результати розрахунку зведемо до таблиці 2.

Таблиця 2

Критеріальні результати розрахунку за рівняннями ПТР та фактичного трекінгу параметрів

Обраний тип критерію	$Q, \text{ т}$	$Q_{TP}, \text{ т}$	$l_{\Pi}, \text{ м}$
Згідно ПТР	4927	9126	716
Зниження сили тяги локомотива на 4,05% (рівняння питомого опору згідно ПТР)	4720	8749	691,96
За рівнянням основного питомого опору вагонів фактичного трекінгу (сила тяги локомотива згідно ПТР)	5073	9126	740,04
За результатами фактичного трекінгу	4860	8749	716

Фактичні значення вагових норм вказаного плеча обслуговування Регіональної філії «Південна залізниця» згідно наказу №102/Н від 18.03.2016 складають 4900 т. Поточні результати розрахунку вказують на невідповідність обраної ваги складу технічним параметрам локомотива, що може призвести до погіршення технічного стану електровозу, зниження дільничних швидкостей руху (та як наслідок пропускну здатності залізниці й часу обороту тягового рухомого складу) та збільшенні кількості непланових ремонтів одиниці експлуатації – тому рекомендується знизити поточну норму на 100-200 т (в залежності від особливостей вагонного парку) чи коректно використовувати сили інерції поїзда.

Висновки: в ході дослідження була проаналізована методика трекінгу вантажного поїзда та встановлено реальні криві питомого опору вагонів і повної сили тяги локомотива, встановлено вплив отриманих параметрів на методологію тягових розрахунків та переоцінені вагові норм вантажних поїздів. Рекомендується у подальшому впровадити методи математичного моделювання та засоби електронно-обчислювальної техніки у роботу локомотивного та вагонного господарств.

Література

- Гребенюк П. Т. Правила тяговых расчетов. П. Т. Гребенюк, А. Н. Долганов, О. А. Некрасов, А. Л. Лисицын и др. М.: Транспорт. 1985. 287 с.
- Коган А. Я. Динамика пути и его взаимодействие с подвижным составом. А. Я. Коган. М.: Транспорт. 1997. 326 с.
- Кузьмич В. Д. Теория локомотивной тяги: учеб. для вузов ж.-д. транспорта. В. Д. Кузьмич, В. С. Руднев., С. Я. Френкель. М.: Издательство «Маршрут». 2005. С. 196-206.
- Осипов С.И. Основы тяги поездов. Учебник для студентов техникумов и колледжей жеззнодорожного транспорта. Осипов С.И., Осипов С.С. Москва: УМК МПС России. 2010. 592 с.
- Анисимов В. А. Тяговые расчеты (Монография). Анисимов В. А., Анисимов В. В. Хабаровск, 2013 <https://www.sites.google.com/site/tagapoezd/monografia>.
- Марюхненко В.С. Особенности контроля технического состояния подвижного состава на ходу поезда. Марюхненко В.С., Пулятьков А.В. Автоматика на транспорте. №2(2). 2016. С. 272-286.

7. Черемисин В.Т. Роль информационных технологий в обеспечении надежности локомотива. Черемисин В.Т. Локомотив. № 9. 2017. С. 2-4.
8. Приказ №867р. Правила тяговых расчетов для поездной работы. Утвержден распоряжением ОАО «РЖД» от 12.05.2016 р. М. 510 с.
9. Pecháč P. Controlling of local search methods' parameters in memetic algorithms using the principles of simulated annealing. Pecháč P., Sága M. Proc. Eng. Volume 136. 2016. P. 70-76.
10. Chen X. GPS/GLONASS Combined Precise Point Positioning With the Modeling of Highly Stable Receiver Clock in the Application of Monitoring Active Seismic Deformation. Chen X., Lu C., Guo B., Guo F., Ge M., Li X., Schuh H. Journal of Geophysical Research. Volume 123. 2018. P. 4025—4040.
11. Safna F. Artificial Neural Network Based Data Mining. Safna F., SunnyR. International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology. Volume 5(4). 2015. P. 240-245.
12. Xingxing Li. Precise positioning with current multi-constellation Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou. Xingxing Li, Xiaohong Zhang, Xiaodong Ren, Mathias Fritsche, Jens Wickert, Harald Schuh. Scientific reports. Volume 4, 2015. P. 1-14.
13. Mikhail Kapitsa. Study of rail vehicles movement characteristics improvement in curves using fuzzy logic mechatronic systems. Mikhail Kapitsa, Evgen Mikhailov, Sergii Kliuiev, Stanislav Semenov and Maksim Kovtanets. 2nd International Scientific and Practical Conference “Energy-Optimal Technologies, Logistic and Safety on Transport” (EOT-2019). MATEC Web of Conferences 294. 2019. P. 1-7.
14. Bodnar B. Defining the limits of application and the values of integration variables for the equations of train movement Bodnar B., Kapitsa M., Bobyr D., Kyslyi D. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2019. № 6. P. 59 – 65.
15. Фалендиш А.П. Математичне моделювання основних параметрів у тягових розрахунках. Фалендиш А.П., Гатченко В.О., Возненко С.В., Клецька О.В., Барибін М.А. Збірник наукових праць ДУИТ. Серія «Транспортні системи і технології». №35. 2020. С.102-112.
16. Фалендиш А.П. Модель визначення характеристик режимних карт ведення поїзда. Фалендиш А.П., Гатченко В.О., Клецька О.В., Кіріцева О.В., Барибін М.А. Збірник наукових праць ДУИТ. Серія «Транспортні системи і технології». №36. 2020. С.102-112.
17. Barybin M. Determination of rational locomotive operating modes and resource costs based on information from global positioning systems. Barybin M., Falendysh A., Hatchenko V., Kletska O., Kiritseva E. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering International Scientific Conference Energy Efficiency in Transport (EET 2020). Volume 1021. 2021. P. 1-8.
18. ЦТ-3921 Инструкция по эксплуатации и ремонту локомотивных скоростемеров ЗСЛ-2М и приводов к ним. Утвержден заместителем министра путей сообщения В.Ф. Соснином от 15.08.1980 р. М. 143 с.

References

1. Grebenyuk P. T. Pravila tyagovyh raschetov / P. T. Grebenyuk, A. N. Dolganov, O. A. Nekrasov, A. L. Lisicyn i dr. // М.: Transport. 1985. 287 с.
2. Kogan A. YA. Dinamika puti i ego vzaimodejstvie s podvizhnym sostavom / A. YA. Kogan // М.: Transport. 1997. 326 с.
3. Kuz'mich V. D. Teoriya lokomotivnoj tyagi: ucheb. dlya vuzov zh.-d. transporta / V. D. Kuz'mich, V. S. Rudnev., S. YA. Frenkel' // М.: Izdatel'stvo «Marshrut». 2005. S. 196-206.
4. Osipov S.I. Osnovy tyagi poezdov. Uchebnik dlya studentov tekhnikumov i kolledzhej zheleznodorodnogo transporta / Osipov S.I., Osipov S.S. // Moskva: UMK MPS Rossii. 2010. 592 с.
5. Anisimov V. A. Tyagovye raschety (Monografiya) / Anisimov V. A., Anisimov V. V. // Habarovsk, 2013 <https://www.sites.google.com/site/tagapoezd/monografia>.
6. Maryuhnenko V.S. Osobennosti kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya podvizhnogo sostava na hodu poezda / Maryuhnenko V.S., Pul'tyakov A.V. // Avtomatika na transporte. №2(2). 2016. S. 272-286.
7. CHeremisin V.T. Rol' informacionnyh tekhnologij v obespechenii nadezhnosti lokomotiva / CHeremisin V.T. // Lokomotiv. № 9. 2017. S. 2-4.
8. Prikaz №867r. Pravila tyagovyh raschetov dlya poezdnoj raboty. Utverzhen rasporyazheniem ОАО «RZHD» от 12.05.2016 r. М. 510 с.
9. Pecháč P. Controlling of local search methods' parameters in memetic algorithms using the principles of simulated annealing / Pecháč P., Sága M. // Proc. Eng. Volume 136. 2016. P. 70-76.
10. Chen X. GPS/GLONASS Combined Precise Point Positioning With the Modeling of Highly Stable Receiver Clock in the Application of Monitoring Active Seismic Deformation / Chen X., Lu C., Guo B., Guo F., Ge M., Li X., Schuh H. // Journal of Geophysical Research. Volume 123. 2018. P. 4025—4040.
11. Safna F. Artificial Neural Network Based Data Mining / Safna F., SunnyR. // International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology. Volume 5(4). 2015. P. 240-245.
12. Xingxing Li. Precise positioning with current multi-constellation Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou / Xingxing Li, Xiaohong Zhang, Xiaodong Ren, Mathias Fritsche, Jens Wickert, Harald Schuh // Scientific reports. Volume 4, 2015. P. 1-14.

13. Mikhail Kapitsa. Study of rail vehicles movement characteristics improvement in curves using fuzzy logic mechatronic systems / Mikhail Kapitsa, Evgen Mikhailov, Sergii Kliuiev, Stanislav Semenov and Maksim Kovtanets // 2nd International Scientific and Practical Conference "Energy-Optimal Technologies, Logistic and Safety on Transport" (EOT-2019). MATEC Web of Conferences 294. 2019. P. 1-7.
14. Bodnar B. Defining the limits of application and the values of integration variables for the equations of train movement / Bodnar B., Kapitsa M., Bobyr D., Kyslyi D. // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2019. № 6. P. 59 – 65.
15. Falendysh A.P. Matematychni modeliuvannia osnovnykh parametriv u tiahovykh rozrakhunkakh / Falendysh A.P., Hachenko V.O., Voznenko S.V., Kletska O.V., Barybin M.A. // Zbirnyk naukovykh prats DUIT. Seriya «Transportni systemy i tekhnolohii». №35. 2020. S.102-112.
16. Falendysh A.P. Model vyznachennia kharakterystyk rezhymnykh kart vedennia poizda / Falendysh A.P., Hachenko V.O., Kletska O.V., Kiritseva O.V., Barybin M.A. // Zbirnyk naukovykh prats DUIT. Seriya «Transportni systemy i tekhnolohii». №36. 2020. S.102-112.
17. Barybin M. Determination of rational locomotive operating modes and resource costs based on information from global positioning systems / Barybin M., Falendysh A., Hachenko V., Kletska O., Kiritseva E. // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering International Scientific Conference Energy Efficiency in Transport (EET 2020). Volume 1021. 2021. P. 1-8.
18. СТ-3921 Інструкція по експлуатації і ремонту локомотивних скоростерів 3SL-2M і приводів к ним. Утвержден замістителем міністра путей сообщенія В.Ф.Сосніном от 15.08.1980 р. М. 143 с.

The article considers the issues of economic feasibility of using traction rolling stock of the country's railway complex. The algorithm for performing traction calculations is shown and the shift elements considered in the paper are displayed graphically. The characteristics of the specific resistance curves of locomotives and wagons in the historical context and according to the main documents on traction calculations are analyzed. The necessity of using Global Positioning Systems to determine the real traction characteristics of traction rolling stock, as well as the approximated equation of the main resistivity of wagons, is established. Proposed expressions for calculating train displacement in mountainous and bumpy terrain conditions. Formulas for taking into account unknown coefficients of equations are defined on the basis of the least squares method. A method for determining the error of the asymptotic approximation of real obtained values to curves of a certain type is introduced. Based on the information obtained from the global positioning systems of freight train under the thrust of VL11 on the Shebelinka-Zanki stage, the real equation of resistance of cars and the error were established; it also defines the equations of hyperbolic curves of locomotive traction forces, errors in the speed range, and graphically displays the comparative results of calculations and the passport of traction rolling stock. A decrease in traction forces and resistivity of railcars was established. Based on the results, a comparative reassessment of the mass of the train, the mass of the train when starting from a standstill, and the length of the receiving and starting tracks is made. Recommendations are made to reduce the established weight standards for the VL11 locomotive on the specified and other service shoulders, whether to use the inertial properties of the train and traction features of the profile. It is proposed to further introduce mathematical division and electronic computer technology tools in locomotive construction.

Keywords: GPS / GLONASS, traction calculations, specific forces, mathematical modeling, locomotive.

Барибін М.А. - аспірант кафедри «Теплотехніка, теплові двигуни та енергетичний менеджмент» Українського державного університету залізничного транспорту

Фалендиш А.П. – д.т.н., професор кафедри «Рухомий склад транспортних систем» ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Іванченко Д.А. – к.т.н., доцент кафедри «Рухомий склад транспортних систем» ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Клецька О.В. – к.т.н., доцент кафедри «Рухомий склад транспортних систем» ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Каращук В.О. – к.т.н., доцент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного університету інфраструктури і технологій