

УДК 629.424.1

А.П. Фалендиш, д.т.н., професор

(професор, завідувач кафедри теплотехніки, теплових двигунів та енергетичного менеджменту Українського державного університету залізничного транспорту)

В.О. Гатченко, к.т.н., доцент

(доцент кафедри тягового рухомого складу залізниць Державного університету інфраструктури та технологій)

С.В. Возненко, к.т.н., доцент

(доцент кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту)

О.В. Клецька

(асистент кафедри теплотехніки, теплових двигунів та енергетичного менеджменту Українського державного університету залізничного транспорту)

М.А. Барибін

(аспірант кафедри теплотехніки, теплових двигунів та енергетичного менеджменту Українського державного університету залізничного транспорту)

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ У ТЯГОВИХ РОЗРАХУНКАХ

У статті розглянуті питання визначення раціональних підходів до проведення тягових розрахунків та застосування автоматизованої системи комп'ютерного моделювання. Встановлені основні значення та методика розрахунку для конкретних умов експлуатації, що дадуть змогу раціонально використовувати енергетичні ресурси.

Ключові слова: автоматична система, тягові розрахунки, мережеві технології, математичне моделювання, рухомий склад.

Вступ. Реформування залізничного транспорту безпосередньо пов'язано з розробкою та реалізацією комплексу заходів направлених на підвищення провізної здатності та зменшенні витрат паливно-енергетичних ресурсів на тягу поїздів. Математичне моделювання проходження поїзда по заданій дільниці обслуговування дозволяє знайти приховані резерви в пропускній здатності залізниці, ефективному використанні потужності локомотива та раціональних витратах ресурсів. Накопичений досвід минулих поколінь в питанні тяги та визначення основних параметрів руху потребує переосмислення, адже застарілі методики не дозволяють повною мірою оцінити зовнішні та внутрішні фактори в процесі руху. Що в свою чергу не дозволяє виробити правильні рекомендації для локомотивних бригад та диспетчерського апарату.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Одним з основних напрямів підвищення точності отримання результатів, зменшення витрат часу на обчислення є ряд засобів, пов'язаних з моделюванням. Багато фахівців присвятили свої роботи питанню визначення раціональної математичної моделі тягових розрахунків та їх відповідності експлуатаційним показникам. Дослідження Міхеєва В.А. [1] визначили основні підходи до встановлення оптимальної структури

DOI:10.32703/2617-9040-2020-35-11

моделювання процесів на основі статистичних даних та аналізу знаходження основних параметрів руху поїзда. При цьому вплив профілю колії повною мірою не враховувався. Серед останніх праць слід відмітити роботи Осипова С.І. [2], в яких сформульовані основні напрями та методики тягових розрахунків і математичного прогнозування. Юань додає до свого методу нелінійний модельний прогнозний контроль [4]. Сонг розробляє відмовостійку стратегію адаптивного управління з віртуальним підходом [7]. Гао використовує самоструктуру нейронних мереж у відмовостійкому управлінні для високошвидкісних поїздів [14]. Але важливим недоліком [4, 7, 14] є вузька направленість створених моделей для конкретних умов експлуатації та невідповідності типів рухомого складу (РС) наявному парку залізниць пострадянського простору.

Одним з основних напрямів підвищення надійності результатів є моделювання на основі ліанеризованих рівнянь наближення віртуальної копії до кривих реального об'єкта [3-15]. Останніми спеціалізованими програмними комплексами на ринку тягових розрахунків є «ІСКРА-ПТР», «ЕРА», «ВЕКТРУМ» та «MoveRW». В них проведено аналіз методів оптимізації динамічних систем, розрахункових схем і математичних моделей теорії тяги і динаміки поїзда, а також можливості математично обґрунтовані, але основними їх недоліками є висока вартість та технічні вимоги до електронно-обчислювальної техніки, а також слабка точність впливу колії на рухомий склад. У процесі експлуатації постійно відбувається зміна параметрів, що характеризують якість функціонування рухомого складу. Зниження експлуатаційних характеристик пов'язане з погіршенням технічного стану окремих елементів обладнання. Це пов'язано з посиленням процесів зношування деталей механічного устаткування та старіння ізоляції електричних машин, що призводить до зниження ресурсу складальних одиниць і деталей і, як наслідок, підвищення сил опору, зниження гальмівних та тягових зусиль, що призводить до збільшення витрат на тягу поїздів. Проте виробники зазначених програмних комплексів не випускають оновлення свого програмного продукту, які б враховували постійно мінливі умови експлуатації

Таким чином, в розглянутих роботах проведено суттєве дослідження щодо визначення оптимальної математичної моделі за окремими критеріями. Але на жаль, в даних роботах не розглядаються автоматизовані системи тягових розрахунків з урахуванням особливостей впливу профілю колії на поїзд в будь-якій точці шляху. Для оцінки впливу кожного фактора необхідно проведення активного багатofакторного експерименту.

Мета і задачі дослідження. Запропонувати вирази для більш точного розрахунку, створити математичну модель визначення основних тягових параметрів: часу, швидкості, нагріву обмоток тягових електродвигунів та витрати палива з метою раціоналізації та підвищення точності. Втілити її у формі програмного продукту на мові програмування «Visual C#» та зменшити час на виконання розрахунків службою локомотивного господарства. Запропонувати можливість встановлення її на локомотиви, мінімізуючи фактор «молодого машиніста» з метою визначення раціональних режимів ведення поїзда та зниження ресурсів на тягу. Графічно побудувати криві часу, швидкості, струму та температури залежно від шляху на плечі обслуговування з метою практичної апробації.

Матеріали та методи дослідження. Головною ідеєю методу математичного моделювання процесів, які протікають в РС, є співставлення реального об'єкта з створеною віртуальною копією поїзда. При цьому модель повинна найбільш повно описувати існуючий виріб таким чином, щоб при зміні впливу різних чинників на діагностичний об'єкт супроводжувана реакція повністю відповідала обраній віртуальній копії. При виконанні тягових розрахунків пропонується використовувати існуючі норми проектування залізниць, а саме: вважати що додатковий опір руху, при переході з одного елемента профіля на інший, змінюється не миттєво, а по деякій скругленій траєкторії [11]. Основний принцип виконання таких змін додаткового опору наведений на рис. 1.

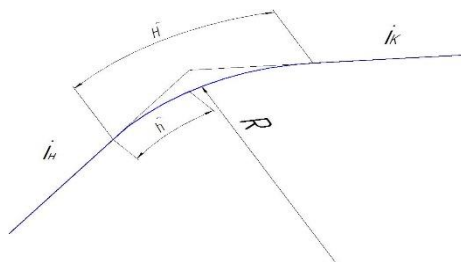


Рис. 1. Скруглення переходу між сусідніми схилами повздожнього профілю

Розрахунок величини еквівалентного схилу на кривій радіуса R , при знаходженні візка на відстані h скруглення довжиною H пропонується розраховувати за виразом:

$$w_i = i_n + (i_k - i_n) \cdot \frac{h}{H}, \quad (1)$$

де i_n – величина схилу початкового елемента, ‰;
 i_k – величина схилу кінцевого елемента, ‰;
 h – відстань на якій знаходиться колісна пара чи візок, м;
 H – довжина дуги скруглення, м.

Оскільки РС при знаходженні на схилі, через фізику процесу, має нерівномірність навантаження візків пропонується враховувати цю величину на кожен окремий візок залежно від його завантаження. Пропонується таке математичне вираження величини еквівалентного схилу окремо взятого візка. Концептуальна ідея такого методу подана на рис. 2. Загальний вид рівняння першого візка при додатній величині схилу, чи другого візка при від'ємному значенні визначається за виразом:

$$w_{iz} = m_i \cdot w_i \cdot \cos \frac{|w_i|}{1000}, \quad (2)$$

де m_i – маса, що приходить на візок, т;
 w_i – величина еквівалентного схилу елемента, ‰.

Тоді загальний вид рівняння другого візка при додатній величині схилу, чи першого візка при від'ємному значенні пропонується розраховувати за виразом:

$$w_{iz} = m_i \cdot w_i \cdot (2 - \cos \frac{|w_i|}{1000}), \quad (3)$$

де m_i – маса, що приходить на візок, т;
 w_i – величина еквівалентного схилу елемента, ‰.

Слід врахувати також і те, що поїзд має певну довжину і може знаходитися одночасно на декількох елементах профілю, графічний вид якого наведено на рис. 3.

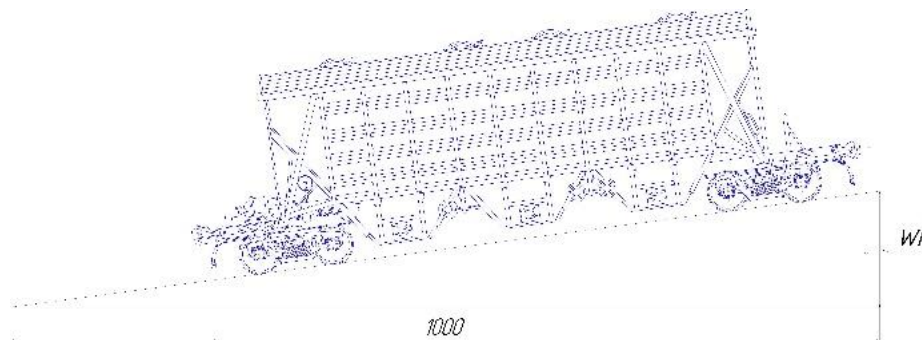


Рис. 2. Розташування вагона на еквівалентному схилі та його вплив на завантаження візків

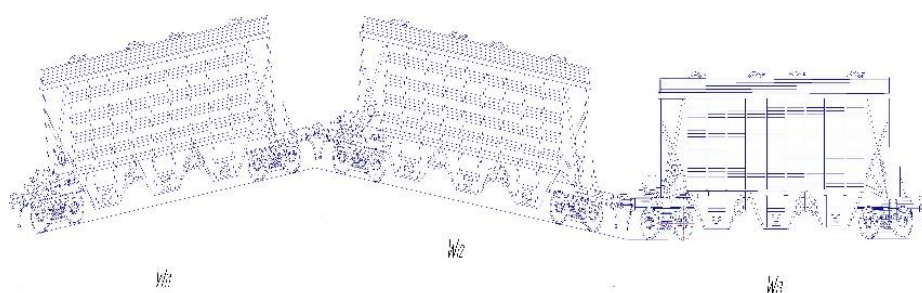


Рис. 3. Графічне зображення реального поїзда на повздовжньому перерізі профілю

Обчислення загального додаткового опору поїзда від профілю шляху пропонується визначати за допомогою виразу:

$$w_i = \frac{\sum_{i=1}^n w_{iz_i}}{m_c + m_l}, \quad (4)$$

де m_c – маса складу, т;
 m_l – маса локомотива, т;
 n – кількість візків в поїзді, од.

Основною метою тягових розрахунків є знаходження швидкості в будь-якій точці шляху та часу, необхідному на проходження заданого профілю колії. Для вирішення рівняння руху поїзда будемо вважати незмінною прискорюючу силу в будь-якому інтервалі швидкості. З метою ліанеризації математичної моделі проміжок часу необхідно приймати якнайменшим. Тоді запропоноване припущення має вид рівноприскореного руху, для якого справедливий вираз:

$$V_2 = V_1 + a \cdot \Delta t, \quad (5)$$

де V_2, V_1 – відповідно швидкість кінцева та початкова, км/год;
 a – прискорення руху, км/год²;
 Δt – проміжок часу протягом якого спостерігається зміна швидкості ($\Delta t \rightarrow 0 \cup \Delta t \neq 0$), год.

Згідно 2 [2] прискорення руху має вираз:

$$a = \xi \cdot (f_K - w - b_T) , \quad (6)$$

де ξ – коефіцієнт питомого прискорення, $\xi = 120 \frac{\text{км/год}^2}{\text{Н/кН}}$;

f_K – питома сила тяги, Н/кН;

w – питомі сили опору руху, Н/кН;

b_T – питомі гальмівні сили, Н/кН.

Тоді вираз (5) буде мати вид:

$$V_2 = V_1 + \Delta t \cdot \xi \cdot (f_K - w - b_T) , \quad (7)$$

Шлях, який поїзд пройде за час Δt в інтервалі швидкостей (V_2, V_1), буде розраховуватись за виразом:

$$\Delta S = \Delta t \cdot \frac{V_2 + V_1}{2} , \quad (8)$$

Підставивши (7) в (8) отримаємо вираз виду:

$$\Delta S = \Delta t \cdot \left(V_1 + \frac{\Delta t \cdot \xi \cdot (f_K - w - b_T)}{2} \right) , \quad (9)$$

Розрахунок параметрів таких як: основний опір рухомого складу, гальмівні сили, визначення температури нагріву та витрати палива на розрахунковій дільниці буде проводитись згідно з [2-3, 10-11]. Вичерпна інформація про локомотив та вагони (розрахункову масу та швидкість, конструкційну швидкість, характеристики сил основного та додаткового опору руху в режимі тяги та вибігу, розрахунковий коефіцієнт зчеплення, тягові характеристики по позиціях контролера машиніста для діапазону швидкостей, норми допустимого перевищення температури обмоток тягових електродвигунів, характеристики витрати палива на холостому ходу та залежно від позицій, струмові та теплові характеристики генератора та тягових електродвигунів, характеристики основного питомого опору руху для різних типів вагонів по стиковій та безстиковій колії, питомий опір при рушанні з місця, характеристики розрахункового коефіцієнта тертя різних типів колодок об колесо, нормативи регульовального гальмування, норми часу підготовки гальм до дії, порядок проведення опробування гальм на ефективність, вплив аеродинаміки та температури навколишнього середовища на опір руху) взята з [10].

Реалізація математичної моделі втілена на мові програмування «Visual C#». Спрощений алгоритм тягових розрахунків наведений на рис. 4.

Для розрахунку прийняте реальне плече обслуговування Харків-Сортувальний – Белгород Південної залізниці (Локомотивне депо ТЧ-10 Харків-Сортувальний). В складі локомотива ЧМЕЗ-1238 та 20 вагонів (5 завантажених напіввагонів з підшипниками кочення, вага брутто 93 тонни; 15 порожніх зерновозів з підшипниками кочення, вага брутто 22 тонни) з відправленням по станції «Харків-Сортувальний» і прибуттям на кінцеву станцію «Казача Лопань» та раціональним режимом ведення поїзда, що наведено в діалоговому вікні зображеному на рис. 5.

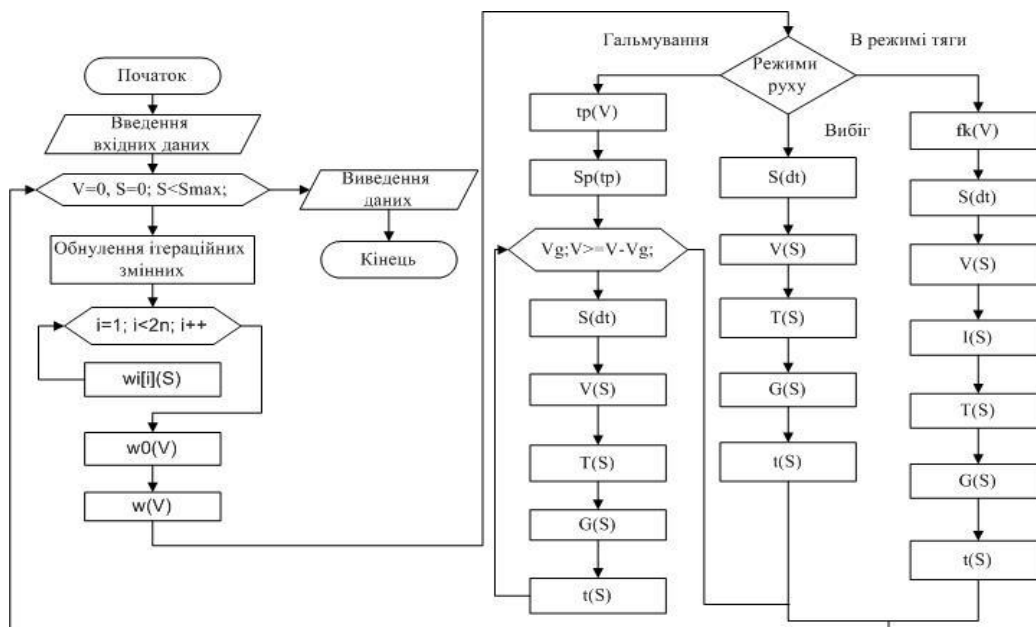


Рис. 4. Спрощений алгоритм тягових розрахунків

Загальна інформація про тип тягового рухомого складу да дільницю експлуатації

Регіональна філія: Південна залізниця

Виробничий підрозділ: ТЧ-10 Харків-Сортувальний

Тип тягового рухомого складу: ЧМЕЗ

Плече обслуговування: Харків-Сортувальний - Белгород

Станція відправлення: Харків-Сортувальний

Станція призначення: Козача Лопань

Режим ведення поїзда: Рациональний

Номер РС	Тип РС	Вага РС
1	ЧМЕЗ	123
2	4-х вісний напіввагон на підшипниках кочення	93
3	4-х вісний напіввагон на підшипниках кочення	93
4	4-х вісний напіввагон на підшипниках кочення	93
5	4-х вісний напіввагон на підшипниках кочення	93
6	4-х вісний напіввагон на підшипниках кочення	93
7	4-х вісний зерновоз на підшипниках кочення	22
8	4-х вісний зерновоз на підшипниках кочення	22
9	4-х вісний зерновоз на підшипниках кочення	22
10	4-х вісний зерновоз на підшипниках кочення	22
11	4-х вісний зерновоз на підшипниках кочення	22
12	4-х вісний зерновоз на підшипниках кочення	22
13	4-х вісний зерновоз на підшипниках кочення	22

Тип вагона: 4-х вісний зерновоз на підшипниках кочення

Завантаженість (нетто), т: 0 Вага бруutto, т: 22

Рис. 5. Інтерактивне контекстне меню введення необхідних даних для тягових розрахунків

Під час проведення випробування моделі була встановлена температура оточуючого середовища в 15 °С, а температура тягових електродвигунів – 20 °С. З метою зменшення часу на проведення тягових розрахунків, освідомлення локомотивної бригади, обговорення отриманої інформації та вкладення в час на відправлення поїзда була встановлено дослідним шляхом величина інтерполяції часу в 5 с. Розрахунок тягових параметрів в табличній формі наведений на рис. 6.

Шлях, м	Час, хв	Швидкість, км/год	Режим ведення	Витрата палива, кг	Температура ТЕД, град.	Сила струму ТЕД, А
0.322327406548...	0.024	1,611612032743...	Тяга	0,03432	20,07283916083...	866,666666666...
1,243658815666...	0.048	2,995070012846...	Тяга	0,03432	20,13594385587...	780,71402452037...
2,755740375599...	0.072	4,565337786818...	Тяга	0,042212456891...	20,206009731835	842,8584784159...
4,918917711737...	0.096	6,250548893870...	Тяга	0,051151362137...	20,27982398210...	876,6459936100...
7,703136016623...	0.12	7,670542630561...	Тяга	0,051960263469...	20,34364831674...	790,6942896230...
11,06242338714...	0.144	9,125894222043...	Тяга	0,070760664450...	20,41163089823...	826,5227022934...
14,95957285280...	0.168	10,35985310625...	Тяга	0,071010153295...	20,47383392432...	772,4667860383...
19,38911648752...	0.192	11,7878506732...	Тяга	0,08832	20,53973894004...	810,7396987288...
24,35564988742...	0.216	13,04480193220...	Тяга	0,08832	20,59976481771...	748,9248358381...
29,79485261157...	0.24	14,15121168851...	Тяга	0,08832	20,65458211310...	694,5623164320...
35,65011577595...	0.264	15,12510413341...	Тяга	0,08832	20,70584614741...	646,7100944719...
41,87333192184...	0.288	15,990978596023	Тяга	0,08832	20,75394420071...	607,0809035535...
48,434108938126	0.312	16,81290848537...	Тяга	0,08832	20,80069798675...	586,8772127594...
55,31531477502...	0.336	17,59312069912...	Тяга	0,08832	20,84633333901...	567,6988020078...
62,50067552791...	0.36	18,33368306529...	Тяга	0,088320000000...	20,89318934747...	589,8461533090...
69,97535302584...	0.384	19,03970442436...	Тяга	0,088319999999...	20,952950110178	748,3245900342...
77,72663741645...	0.408	19,716717528706	Тяга	0,088320000000...	21,01100839188...	730,6740560575...
85,74316256015...	0.432	20,36590818979...	Тяга	0,088320000000...	21,06736072368...	713,7487284490...
94,01509711040...	0.456	20,99377756143...	Тяга	0,08832	21,12229307705...	700,2632733452...

Загальний час, хв 47.08 Витрата палива, кг 98.09 Максимальна температура ТЕД, град. 43.08

Рис. 6. Вікно відображення тягових розрахунків

Графічне відображення проведених розрахунків кривих часу, швидкості, температури та струму тягових електродвигунів наведено на рис. 7 та 8 відповідно.

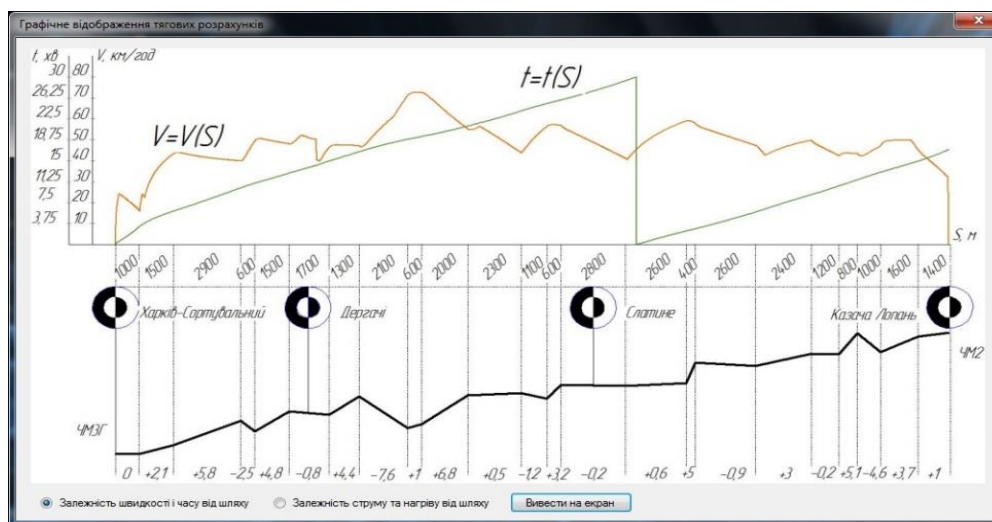


Рис. 7. Графічне відображення кривих часу та швидкості з тягових розрахунків

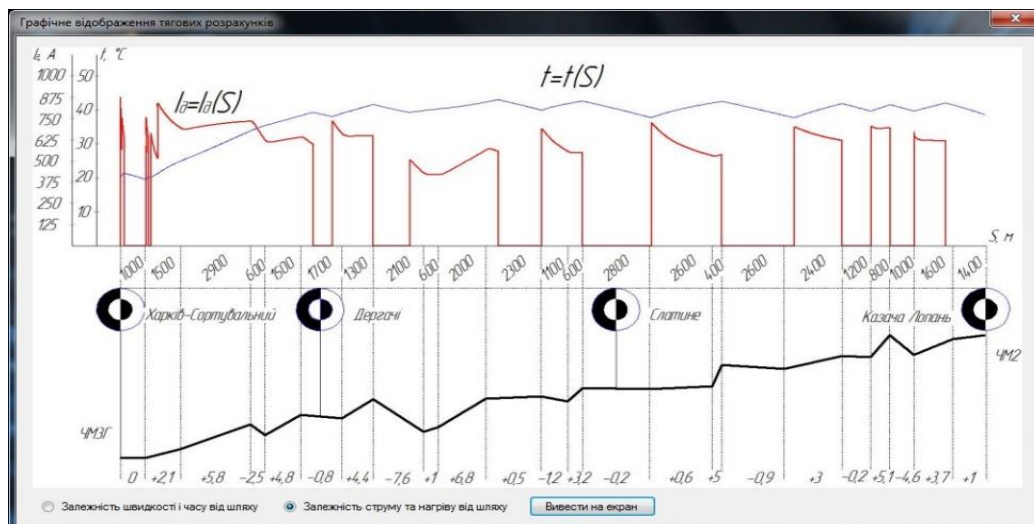


Рис. 8. Графічне відображення кривих струму та температури тягових електродвигунів з тягових розрахунків

На рис. 9 наведено дані з тягових розрахунків конвертовані в формат «.excel» для їх можливої подальшої обробки та детального ознайомлення з метою аналізу і пропонування методів підвищення точності математичної моделі.

№	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
2051	35921,85	46,98848	22,20694	Торможене	0,00065	38,69584	0							
2052	35923,41	46,9928	21,20694	Торможене	0,000647	38,69008	0							
2053	35924,9	46,99709	20,20694	Торможене	0,000645	38,68435	0							
2054	35926,3	47,00137	19,20694	Торможене	0,000642	38,67864	0							
2055	35927,63	47,00563	18,20694	Торможене	0,000639	38,67296	0							
2056	35928,88	47,00987	17,20694	Торможене	0,000636	38,66731	0							
2057	35930,06	47,01409	16,20694	Торможене	0,000633	38,66168	0							
2058	35931,16	47,01829	15,20694	Торможене	0,00063	38,65608	0							
2059	35932,18	47,02247	14,20694	Торможене	0,000627	38,65051	0							
2060	35933,13	47,02663	13,20694	Торможене	0,000624	38,64496	0							
2061	35934,01	47,03077	12,20694	Торможене	0,000621	38,63945	0							
2062	35934,81	47,03489	11,20694	Торможене	0,000618	38,63396	0							
2063	35935,54	47,03899	10,20694	Торможене	0,000614	38,6285	0							
2064	35936,2	47,04306	9,206945	Торможене	0,000611	38,62308	0							
2065	35936,79	47,04711	8,206945	Торможене	0,000608	38,61768	0							
2066	35937,31	47,05114	7,206945	Торможене	0,000605	38,61231	0							
2067	35937,76	47,05515	6,206945	Торможене	0,000601	38,60697	0							
2068	35938,13	47,05914	5,206945	Торможене	0,000598	38,60167	0							
2069	35938,45	47,0631	4,206945	Торможене	0,000594	38,59639	0							
2070	35938,69	47,06704	3,206945	Торможене	0,000591	38,59115	0							
2071	35938,87	47,07095	2,206945	Торможене	0,000587	38,58594	0							
2072	35938,98	47,07484	1,206945	Торможене	0,000584	38,58077	0							
2073	35939,02	47,07871	0,206945	Торможене	0,00058	38,57562	0							
2074	35939	47,08255	0	Торможене	0,000576	38,57052	0							

Рис. 9. Вікно конвертування тягових розрахунків в формат «.excel»

Використання запропонованих методів математичного моделювання та аналого-цифрових пристроїв реєстрації основних параметрів руху дозволить підвищити точність, зменшити час та витрату паливно-енергетичних ресурсів на тягу поїздів. Проте це потребує діагностичного обладнання та масової практичної апробації на виробництві.

Висновки. В результаті аналізу проведеної роботи визначено виконання поставленої мети дослідження та в ході розрахунку було встановлено необхідність виведення даних у форматі «*.excel», що було реалізовано. Сформована необхідність застосування засобів комп'ютерного

моделювання. Розроблена математична модель розрахунку основних тягових параметрів (швидкості, часу, витрати енергоресурсів, нагрівання обмоток тягових електродвигунів), реалізація якої втілена на мові програмування «Visual C#». Запропоновані вирази для більш точного тягового розрахунку. Зроблені обчислення заданого плеча обслуговування та графічно побудовані криві часу, швидкості, струму та температури в залежності від шляху. В подальшому доцільно впровадити математичну модель та програмний продукт в локомотивне господарство з метою встановлення раціональних режимів ведення поїзда, зниження ресурсів на тягу та масової практичної апробації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Михеев В.А. Оценка эксплуатационной экономичности дизельных локомотивов на заданом участке обслуживания // *Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии*. 2015., №1 (41). С.91-96.
2. Осипов С.И., Осипов С.С. Основы тяги поездов. Учебник для студентов техникумов и колледжей жеззнодорожного транспорта Москва: УМК МПС России, 2010. 592 с.
3. Водяников Ю.Я., Свистун С.М. Макеева Е.Г. Методология пересчета тормозной эффективности одиночного вагона на тормозную эффективность поезда // *Залізничний транспорт*, 2014. № 2 С. 27-37.
4. Yuan L., Zhao H., Chen H., Ren B. Nonlinear MPC-based slip control for electric vehicles with vehicle safety constraints // *Mechatronics*. Volume 38, December 2016, pp. 1-15.
5. Фалендши А.П., Сумцов А.Л., Артеменко О.В. Програмный комплекс выбора системы технической эксплуатации 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. Song H., Schnieder E. Evaluating Fault Tree by means of Colored Petri nets to analyze the railway system dependability // *Safety Science* Volume 110, December 2018, pp 313-323.
8. Navas M.A., Sancho C., Carpio J. Reliability analysis in railway repairable systems // *International Journal of Quality and Reliability Management*. 2017, №34 (8). pp 1373-1398.
9. Михеев В.А., Сопижук А.Н. Оценка тяговой характеристики тепловозов по результатам стационарных испытаний // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2016., №2(2). С.46-48.
10. Приказ №867р. Правила тяговых расчетов для поездной работы. Утвержден распоряжением ОАО «РЖД» от 12.05.2016 р. М.: - 510 с.
11. ДБН В.2.3-19-2008. Споруди транспорту. Залізничні колії 1520 мм. Норми проектування. - Введ. 26.01.2008. Київ.: МінРеґіонБуд України, 2008. 12 с.
12. Наказ №204-Ц. Положення про інспекцію з контролю ефективності використання енергоресурсів Укрзалізничі. Введ. 2014-05-16. Київ., 2014. 10 с.
13. Safina F., SunnyR. Artificial Neural Network Based Data Mining // *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*. Volume 5(4), June 2015, pp 240-245.
14. Gao R.Z., Wang Y.J., Lai J.F., Gao H. Neuro-adaptive faulttolerant control of high speed trains under traction-braking failures using self-structuring neural networks // *Information Sciences*. Volume 367, May 2016, pp. 449-462.
15. Uyulan C., Gokasan M., Bogosyan S. Readhesion control strategy based on the optimal slip velocity seeking method // *Journal of Modern Transportation* Volume 26(1), April 2018, , pp. 36-48.

REFERENCES

1. Mikhayev V.A. (2015). *Otsenka ekspluatatsionnoy ekonomichnosti dizel'nykh lokomotivov na zadanom uchastke obsluzhivaniya [Estimation of the diesel locomotives operational efficiency at the given service area.]*. Vesnik Sibirskoy gosudarstvennoy avtomobil'no-dorozhnoy akademii - Vesnik of the Siberian State Automobile and Road Academy. №1(41), 91-96 [in Russian].
2. Osipov S.I., & Osipov S.S. (2010) *Osnovy tyagi poyezdov [Principles of traction]*. Moscow: UMC MPS of Russia [in Russian]
3. Vodiannikov Yu.Ya.; Svistun S.M., & Makeeva E.G. (2014) *Metodologiya perescheta tormoznoy yefektivnosti odinochnogo vagona na tormoznyuyu yefektivnost' poyezda [Methodology of the single car braking efficiency recalculation for the train braking efficiency]* Zaliznichniy transport – Railway transport. 2, 27-37 [in Ukraine].
4. Yuan L., Zhao H., Chen H., Ren B. (2016). *Nonlinear MPC-based slip control for electric vehicles with vehicle safety constraints*. Mechatronics. Volume 38, 1-15 [in China].
5. Falendish A.P., Sumtsov A.L., & Artemenko O.V. (2016). *Prohramnyy kompleks vyboru systemy tekhnichnoyi ekspluatatsiyi manevrovoho teplovozu [Program complex for the system and technical operation of a shunting diesel locomotive]*. Informatsiyno-keruyuchi systemy na zaliznychnomu transporti - Information system-test system on a railway transport, 1, 54-61 [in Ukraine].
6. Chermisin V.T. (2017). *Rol informatsionnyih tehnologiy v obespechenii nadezhnosti lokomotiva [The role of information technology in ensuring the reliability of the locomotive]*. Locomotive - Locomotive, 9, 2-4 [in Russian].

7. Songs H., Schnieder E. (2018). *Evaluating the Fence Tree to analyze the railway system dependability*. Safety Science Volume 110, 313-323 [in United Kingdom].
8. Navas M.A., Sancho C., Carpio J. (2017). *Reliability analysis in railway repairable systems*. International Journal of Quality and Reliability Management, 34, 8, 1373-1398 [in United Kingdom].
9. Mikheev V.A., & Sopizhuk A.N. (2016) *Otsenka tyagovoy kharakteristiki teplovozov po rezul'tatam stacionarnykh ispytaniy // [Estimation of the locomotive traction characteristic by the stationary tests results]*. Aktual'nyy problemy gumanitarnykh i yestestvennykh nauk - Actual problem of the humanities and natural sciences, 2(2), 46-48 [in Russia].
10. Pravila tyagovykh raschetov dlya poyezdnoy raboty. [Rules for traction calculations for train work]. (2016). *Order 867 from 12.05.2016*. Moscow: JSC Russian Railways [in Russia].
11. Sporudy transportu. Zaliznytsi kolyi 1520 mm. Normy proektuvannya [Transport facilities. Track gauge 1520 mm. Design rules]. (2008). *DBN B.2.3-19-2008 from 26.01.2008*. Kyiv: MinRegionBud [in Ukraine].
12. Polozhennya pro inspektsiyu z kontrolyu efektyvnosti vykorystannya enerhoresursiv Ukrzaliznytsi [Regulations on inspection of energy efficiency control of Ukrzaliznytsia]. (2014). *Order 204-C from 16.05.2014* Kiev: Joint-Stock Company Ukrzaliznytsia [in Ukraine].
13. Safina F., SunnyR. (2015) *Artificial Neural Network Based Data Mining*. International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology. Volume №5(4), 240-245 [in United Kingdom].
14. Gao R.Z., Wang Y.J., Lai J.F., Gao H. (2016) *Neuro-adaptive faulttolerant control of high speed trains under traction-braking failures using self-structuring neural networks*. Information Sciences. Volume 367, 449-462 [in China].
15. Uyulan C., Gokasan M., Bogosyan S. (2018) *Readhesion control strategy based on the optimal slip velocity seeking method*. Journal of Modern Transportation. Volume 26(1), 36-48 [in United Kingdom].

А.П. Фалендыш, д.т.н., профессор

(профессор, заведующий кафедры теплотехники, тепловых двигателей и энергетического менеджмента Украинского государственного университета железнодорожного транспорта)

В.А. Гатченко, к.т.н., доцент

(доцент кафедры тягового подвижного состава железных дорог Государственного университета инфраструктуры и технологий)

С.В. Возненко, к.т.н., доцент

(доцент кафедры пути и путевого хозяйства Украинского государственного университета железнодорожного транспорта)

О.В. Клецка

(ассистент кафедры теплотехники, тепловых двигателей и энергетического менеджмента Украинского государственного университета железнодорожного транспорта)

М.А. Барыбин

(аспирант кафедры теплотехники, тепловых двигателей и энергетического менеджмента Украинского государственного университета железнодорожного транспорта)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ В ТЯГОВЫХ РАСЧЁТАХ

В статье рассмотрены вопросы определения рациональных подходов к проведению тяговых расчетов и применения автоматизированной системы компьютерного моделирования. Установлены основные значения и методика расчета для конкретных условий эксплуатации, которые позволят рационально использовать энергетические ресурсы.

Ключевые слова: *автоматическая система, тяговые расчеты, сетевые технологии, математическое моделирование, локомотив.*

A. Falendish, Ph.D., Professor

(Professor, Head of the Department of Thermal Engineering, Heat Engines and Energy Management of the Ukrainian State University of Railway Transport)

V. Hatchenko, Ph.D., Associate Professor

(Associate Professor, Department of Traction Rolling Stock Railways of the State University of Infrastructure and Technologies)

S. Voznenko, Ph.D., Associate Professor

(Associate Professor, Department of Track and Track Management of Ukrainian State University of Railway Transport)

O. Kletska

(Assistant Professor, Department of Thermal Engineering, Heat Engines and Energy Management, Ukrainian State University of Railway Transport)

M. Barybin

(Postgraduate student of the Department of Thermal Engineering, Heat Engines and Energy Management of the Ukrainian State University of Railway Transport)

MATHEMATICAL MODELING OF THE BASIC PARAMETERS IN THE PULLING CALCULATIONS

The article deals with the definition of rational approaches to carrying out traction calculations and the use of automated computer simulation. The basic values and calculation method for specific operating conditions have been established, which will allow to use economic resources rationally. The necessity of introducing analogue-digital devices under difficult economic conditions is proved. The mathematical model of traction calculations is offered. The necessity of using computer simulation tools is formed. Based on the proposed methods, you will be able to accurately determine train movement parameters, as well as improve accuracy and reduce time. Methods of mathematical modeling of the basic parameters of motion are offered that will allow to improve accuracy, reduce time and consumption of fuel and energy resources for train traction. The calculation part of the automated system is based on the developed methodology for determining the rational parameters of motion for specific operating conditions.

Keywords: *automatic system, traction calculations, network technologies, mathematical modeling, locomotive.*