

**МЕХАНІКО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**  
**Кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**до виконання курсової роботи**  
**з дисципліни**  
***«РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ»***

**Харків – 2018**

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу 6 листопада 2017 р., протокол № 5.

Призначені для студентів університету всіх форм навчання спеціальності «Залізничний транспорт» та відповідають робочій програмі з курсу «Ресурсозберігаючі технології та основи екології».

Укладачі:

проф. **Е. Д. Тартаковський**,  
старш. викл. Д. О. Аулін,  
асист. О. О. Анацький

Рецензент

проф. А. П. Фалендиш

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсової роботи  
з дисципліни

*«РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ»*

Відповідальний за випуск Максимов М. В.

Редактор Третьякова К. А.

---

Підписано до друку 20.11.17 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 1,75. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Український державний університет  
залізничного транспорту,  
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.

## ЗМІСТ

Вступ .....	4
Вихідні дані .....	5
1 Оцінка енергетичної ефективності локомотивів в експлуатації.....	6
2 Визначення маси складу потяга.....	9
3 Визначення вихідної (базової) норми витрат енергоресурсів і її коригування.....	11
4 Розрахунок тягово-енергетичного паспорта тепловоза.....	13
5 Зміна опору руху поїзда залежно від особливостей його формування.....	18
6 Вплив ступеня використання вантажопідйомності вагонів.....	21
7 Вплив труднощів профілю колії.....	22
8 Вплив температурних умов.....	24
9 Вплив технічного стану локомотивів.....	25
10 Додаткові витрати електричної енергії і палива, пов'язані із зупинкою поїзда.....	26
Список літератури.....	32

## ВСТУП

Дані методичні вказівки призначені для вивчення ресурсозберігаючих технологій та основ екології у системі локомотивного господарства.

Курсова робота направлена на встановлення порядку визначення базової (вихідної) норми витрат енергоресурсів при тязі поїздів та її корегування залежно від конкретних експлуатаційних умов.

Нормування витрат електричної енергії і дизельного палива локомотивами базується на даних тягово-енергетичних паспортів локомотивів, а також загальних формулах і положеннях тягових розрахунків.

При нормуванні визначаються витрати електричної енергії і палива, відповідні справному стану локомотивів, які експлуатуються в умовах, що забезпечують використання прогресивних методів обслуговування і водіння поїздів.

## Вихідні дані

	Вихідні дані		Варіант ( відповідно до списку в журналі - остання цифра шифру)										
	Локомотив/показники	Розмір-ність	Позна-чення	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Варіант/значення		км/год		ВЛ 8	ВЛ 10	ВЛ 11	ВЛ 60	ВЛ 80	ЧС 2	ЧС 4	2ТЕ10М	ТЕП 70	ДЕ 1
1	Конструкційна швидкість	км/год	$V_k$	80	100	100	100	110	160	160	100	160	100
2	Розрахункова швидкість	км/год	$V_p$	43,3	46,7	46,7	43,5	44,5	106	110	23,4	50	49,1
3	Розрахункова сила тяги	Н	$F_{кр}$	466165	46000	451260	361000	481000	180000	160834	496385	166713	456000
4	Сила тяги при рушанні	Н	$F_{кр\ руш}$	595467	568786	614100	487360	649400	320000	270000	797553	280000	600000
5	Розрахунковий ухил	%	$i_{руш}$	Вибирається з профілю відповідно до списку в журналі з МВ 3726									
6	Схил і довжина швидкісного ухилу	%/м	$i_{шв}/S_{шв}$	Вибирається з профілю відповідно до списку в журналі з МВ 3726									
7	Довжина локомотива	м	$L_{л}$	28	33	33	21	33	19	18	34	21,7	31
8	Довжина приймально-відправної колії	м	$L_{пак}$	1050	1250	1050	1050	1250	1050	1050	1050	1050	1250
9	Маса локомотива	т	$P$	180	184	180	136	186	120	125	276	131	188
10	Маса вагонів:												
	а) чотиривісних вагонів;	т	$q_{4к}$	84	84	82	72	74	65	64	82	62	86
	б) восьмивісних вагонів	т	$q_8$	160	100	172	148	114	-	-	162	-	168
11	Частка вагонів:												
	а) чотиривісних вагонів;	%	$\alpha$	92	85	90	87	85	100	100	91	100	92
	б) восьмивісних вагонів	%	$\gamma$	8	15	10	13	15	-	-	9	-	8
12	Матеріал гальмівних колодок			Чавунні									
13	Частка гальмівних вісей	%	$\sigma$	94	95	93	95	92	91	94	96	95	97
14	Початкова швидкість на ухилі, що перевіряється	км/год	$V_n$	60	60	60	60	60	70	70	50	50	60
15	Схил роздільного пункту	%	$i_{р.п}$	Вибирається з профілю відповідно до списку в журналі з МВ 3726									
16	Профіль	-	№	Вибирається відповідно до списку в журналі з МВ 3726									

## **1 Оцінка енергетичної ефективності локомотивів в експлуатації**

Оцінка енергетичної ефективності локомотивів здійснюється шляхом порівняння фактичної витрати паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) з плановою витратою або технічною нормою. При цьому норма як планова міра споживання також служить оцінкою рівня енергетичної ефективності локомотива. Прийнято вважати, якщо за підсумками місяця сумарна фактична кількість дизельного палива або електроенергії перевищує аналогічне планове значення, то енергетична ефективність і теплотехнічний стан локомотива незадовільні. Звідки виходить, що з визначенням норми витрат ПЕР на тягу поїздів одночасно проводиться оцінка рівня очікуваної енергетичної ефективності локомотива в експлуатації.

Нормування витрат паливно-енергетичних ресурсів – це встановлення планової міри їх споживання. Норма витрати ПЕР на тягу поїздів – це плановий показник витрат ресурсів на виробництво одиниці продукції (роботи). Норми витрати служать для планування споживання та ефективності використання ПЕР, а також оцінки енергетичної ефективності локомотивів в експлуатації.

Норми витрат ПЕР повинні відповідати таким вимогам:

- мати єдину методичну основу;
- враховувати умови експлуатації локомотивів, досягнення науково-технічного прогресу, плани організаційно-технічних заходів, що передбачають раціональне й ефективне використання ПЕР;
- систематично переглядатися з урахуванням планованого розвитку, технічного прогресу виробництва і досягнутих прогресивних показників використання ПЕР;
- сприяти максимальній мобілізації внутрішніх резервів, економії ПЕР, виконанню планових завдань і досягненню високих економічних результатів виробництва.

Вихідними даними для визначення нормативів витрат ПЕР є:

- технологічні процеси, регламенти та інструкції, експериментально перевірені нормативні характеристики енергетичного обладнання локомотивів;

- паспортні дані локомотивів;
- кількісні та якісні показники використання локомотивів;
- дані про планові і фактичні питомі витрати ПЕР за минулі періоди часу (із розподілом за місяцями, видами руху);
- плани організаційно-технологічних заходів щодо економії витрат ПЕР.

Залежно від призначення планові норми питомої витрати ПЕР підрозділяються:

- 1) за рівнем нормування для:
  - залізниць;
  - дирекції залізниць;
  - локомотивних депо;
  - локомотивних бригад;
- 2) за видами тяги:
  - електрична;
  - тепловозна;
- 3) за видами руху та характером роботи:
  - вантажна;
  - пасажирська (окремо для далеких і приміських перевезень);
  - господарська;
  - маневрова;
- 4) за ділянками роботи для:
  - поїздодільниць (планова технічна норма питомої витрати ПЕР);
  - технологічних операцій (планова поопераційна норма питомої витрати ПЕР);
- 5) за періодами нормування:
  - рік;
  - квартал;
  - місяць.

Питома витрата і норми питомої витрати ПЕР електровозної тяги вимірюються у кіловат-годинах (кВт•год), тепловозної тяги, крім технічних і поопераційних норм питомої витрати дизельного палива, – у кілограмах умовного палива (кг умов. палив) на відповідний показник роботи.

Технологічні і поопераційні норми питомої витрати дизельного палива вимірюються у кілограмах натурального обчислення на показник роботи.

Норми питомих витрат ПЕР для залізниць, відділень залізниць і локомотивних депо в обох видах тяги для всіх родів руху, за винятком маневрової роботи, встановлюють на десять тисяч тонно-кілометрів брутто ( $10^4$  ткм брутто).

Технічні норми питомої витрати ПЕР встановлюють при проходженні локомотивів на чолі поїзда подвійною тягою та при підштовхуванні. Робота при цьому обчислюється виходячи з маси складу поїзда брутто без урахування маси локомотива.

Поопераційні норми питомої витрати ПЕР встановлюють:

- для поодинокого проходження локомотивів, у тому числі штовхачів, на 100 км лінійного пробігу;
- на простій локомотивів у депо або на станційних коліях в очікуванні роботи (гарячий простій) – на 1 год простою, що еквівалентно 1 км пробігу.

Витрати ПЕР на простій локомотива на проміжних станціях, передбачений графіком руху, входять до технічної норми.

Аналіз існуючих методів свідчить про відсутність в експлуатації уніфікованої, прийнятної для практичних розрахунків з урахуванням конкретних умов експлуатації методики визначення індивідуальних норм витрат палива.

Уніфікована і придатна для практичних розрахунків методика розрахунку індивідуальних норм витрат палива повинна враховувати такі вимоги:

- облік основних факторів, які однаково впливають на витрату палива локомотивом в експлуатації;
- виконання розрахунків має здійснюватись оперативно, із застосуванням ЕОМ;
- вимірювач питомої витрати палива повинен характеризувати суть виконуваної роботи.

Розроблення нормативів витрат ПЕР має ґрунтуватися на аналізі та прогнозі зміни перевізної роботи на плановий період часу. Вивчення і передбачення загального напрямку в зміні роботи і відповідно енергоресурсів на тягу поїздів створює передумови для вироблення і прийняття планових рішень щодо їх реалізації. Іншими словами, на базі прогнозів розробляється



енергетична стратегія у частині витрат енергоресурсів, яка знаходить відображення у нормативі їх витрати на тягу поїздів.

До прогнозів висуваються такі загальні вимоги: вони мають бути насамперед науково обґрунтовані, своєчасні та надійні; повинні містити в достатньому обсязі інформацію, необхідну для розроблення перспективних нормативів витрат енергоресурсів на тягу поїздів.

Головними функціями прогнозування як найважливішої стадії роботи з наукового обґрунтування нормативів витрат енергоресурсів на тягу поїздів є:

- виявлення та аналіз сформованих закономірностей і тенденцій в енергоспоживанні;

- оцінка дії тенденцій енергоспоживання у майбутньому й урахування їх позитивних і негативних наслідків, які вимагають свого рішення;

- виявлення можливих альтернатив розвитку енергоспоживання у перспективі;

- накопичення інформації для об'єктивного вибору напрямку в розробленні нормативу витрат енергоресурсів на тягу поїздів.

Між тим прогнозування не вирішує проблеми цілеспрямованого вибору оптимального варіанта і не визначає господарської стратегії на майбутнє, що є прерогативою планування. Прогноз виступає не в ролі різновиду плану або якої-небудь його модифікації. Прогноз необхідно розглядати лише як гіпотезу найбільш імовірного розвитку в майбутньому.

## 2 Визначення маси складу потяга

Маса складу потяга визначається за формулою

$$Q = \frac{F_{kp} - P(w'_0 + i_p) \cdot g}{(w''_0 + i_p) \cdot g}; \quad (2.1)$$

де  $F_{kp}$  – розрахункова сила тяги локомотива;

$P$  – розрахункова маса локомотива, т;

$w'_0$  – основний питомий опір локомотива, Н/кН;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$w_0''$  – основний питомий опір складу потяга, Н/кН;

$i_p$  – крутість розрахункового підйому, ‰.

Величини  $w_0'$  і  $w_0''$  визначаємо для розрахункової швидкості локомотива  $v_p$ , км/год.

Основний питомий опір локомотива, Н/кН

$$w_0' = 1,9 + 0,01 \cdot v_p + 0,0003 \cdot v_p^2. \quad (2.2)$$

Основний питомий опір складу, Н/кН,

$$w_0'' = \alpha \cdot w_{04\kappa}'' + \beta \cdot w_{04c}'' + \gamma \cdot w_{08}'', \quad (2.3)$$

де  $\alpha, \beta, \gamma$  – відповідно частка по вазі (не у відсотках) чотиривісних вагонів на підшипниках ковзання, кочення і 8-вісних вагонів у складі.

Основний питомий опір, Н/кН, чотиривісних завантажених вагонів із підшипниками кочення визначаємо за формулою

$$w_{04\kappa}'' = 0,7 + \frac{3 + 0,1 \cdot v_p + 0,0025 \cdot v_p^2}{q_{04\kappa}}. \quad (2.4)$$

Основний питомий опір, Н/кН, чотиривісних завантажених вагонів із підшипниками ковзання

$$w_{04c}'' = 0,7 + \frac{8 + 0,1 \cdot v_p + 0,0025 \cdot v_p^2}{q_{04c}}. \quad (2.5)$$

Основний питомий опір, Н/кН, восьмивісних завантажених вагонів

$$w_{08}'' = 0,7 + \frac{6 + 0,038 \cdot v_p + 0,0021 \cdot v_p^2}{q_{08}}. \quad (2.6)$$

де  $q_{04c}, q_{04k}, q_{08}$  – середня маса, яка припадає відповідно на вісь чотиривісного вагона на підшипниках ковзання, кочення і 8-вісного вагона, т/вісь.

$$q_{04c} = \frac{q_{4c}}{4}; \quad q_{04k} = \frac{q_{4k}}{4}; \quad q_{08} = \frac{q_8}{8}, \quad (2.7)$$

де  $q_{4c}, q_{4k}, q_8$  – маса бруто відповідно чотиривісного вагона на підшипниках ковзання, кочення і 8-вісного вагона, т.

### **3 Визначення вихідної (базової) норми витрат енергоресурсів і її коригування**

Нормою витрат електроенергії або палива на поїзну роботу є плановий показник витрат на виробництво одиниці транспортної продукції, який включає до себе усі затрати, пов'язані з пересуванням поїзда, локомотива та його обслуговуванням у процесі роботи з поїздом.

За вихідні (базові) норми витрат енергоресурсів на тягу поїздів приймаються питомі витрати електроенергії або палива локомотива даної серії, визначені за тягово-енергетичними паспортами, залежно від вагових норм розглянутих категорій поїздів і швидкості їх руху.

Вихідна норма витрат електроенергії і палива уточнюється за допомогою поправкових емпіричних коефіцієнтів, що дозволяють враховувати витрати енергоресурсів на поповнення витрат кінетичної енергії поїзда, пов'язаних із зупинками, витрати енергії на розгін поїзда, роботу двигуна та допоміжних машин локомотива на холостому ході, а також індивідуальні особливості формування потягу, ступінь використання вантажопідйомності вагонів, складність профілю шляху, температурно-метеорологічні умови та інше.

Розрахунок норм витрат електричної енергії та палива на поїзд виконують за формулами:

- для електровозів

$$e = e_0 \cdot k_w \cdot k_q \cdot k_i \cdot k_t + z'(\Delta e_T + \Delta e_p) + e_d(k_d + \Theta_c k'_d) \text{ кВт} \cdot \text{год} / 10 \text{ тис. ткм брутто}; \quad (3.1)$$

для тепловозів

$$n = n_0 \cdot k_w \cdot k_q \cdot k_i \cdot k_t \cdot k_{т.с} + z' \Delta n_T + k_x \cdot n_x + \Theta_c \cdot k'_x \cdot n_x \text{ кг} / 10 \text{ тис. ткм брутто}; \quad (3.2)$$

де  $e_0$ ,  $n_0$  – вихідні норми витрат електроенергії та палива, які визначаються тягово-енергетичним паспортом;

$k_w$  – коефіцієнт, який враховує зміну опору складу залежно від особливостей його формування;

$k_q$  – коефіцієнт впливу ступеня використання вантажопідйомності вагонів (у даному випадку відношення статичного навантаження на вісь до 17,5 т);

$k_i$  – коефіцієнт важкості нормованої ділянки,

$k_t$  – температурний коефіцієнт нормованого періоду;

$k_{т.с}$  – коефіцієнт, який враховує технічний стан локомотива;

$k_x$  – коефіцієнт холостого ходу локомотивів, виражений відношенням часу холостого ходу до загального часу руху поїзду;

$k'_x$  – коефіцієнт холостої роботи дизеля, виражений відношенням часу, роботи дизеля за добу до загальної тривалості стоянок;

$z'$  – кількість зупинок, які передбачені графіком руху поїздів на 100 поїзд.км;

$\Delta e_T$ ,  $\Delta n_T$  – витрати електроенергії та палива на відновлення кінетичної енергії, втраченої при гальмуванні, віднесені до 10 тис. ткм брутто;

$\Delta e_p$  – витрати електроенергії для електровозів постійного струму в реостатах при рушанні та розгоні, віднесені до 10 тис. ткм брутто;

$n_x$  – витрати палива на холостий хід при  $k_x = 1$ ;

$e_d$  – витрати електроенергії на допоміжні машини локомотива, віднесені до 10 тис. ткм брутто;

$k_d$ ,  $k'_d$  – відповідно коефіцієнти використання потужності допоміжних машин електровоза в ході та на стоянках, отриманих

як частина номінальної потужності, фактично використаної для обслуговування локомотивів;

$\Theta_c$  – коефіцієнт стоянкового часу як відношення часу зупинок, передбачених розкладом руху, до загального часу руху поїзда.

Вихідну норму  $e_0$  ( $n_0$ ) знаходять за допомогою паспорта локомотива, який можна визначити залежно від

$$e_0 = S + R * V + T * \frac{V}{Q}, \quad (3.3)$$

де  $S, R, T$  – коефіцієнти рівняння;

$V$  – технічна швидкість, км/год;

$Q$  – вага поїзда, т.

Коефіцієнти  $S, R, T$  розраховуються таким способом: спочатку в точках перетину кривих основного опору руху поїзда різної маси з кривими тягової характеристики визначаються величини рівномірної швидкості руху, потім для кожної величини рівномірної швидкості розраховують відповідні значення основного питомого опору та питому годинну витрату енергії.

#### **4 Розрахунок тягово-енергетичного паспорта тепловоза**

1 Розрахунок питомого опору  $W = f(v)$  для поїздів прийнятих градацій маси, які рухаються на площадці, для електровозів й тепловозів зводимо в таблицю 4.1.

$$W = Q(0,7 + \frac{3 + 0,1v + 0,0025v^2}{17,5}) + P(1,9 + 0,01v + 0,0003v^2). \quad (4.1)$$

Таблиця 4.1 – Розрахунок питомого опору  $W = f(v)$  для поїздів прийнятих градацій маси

$Q, \text{ т}$ \ $V, \text{ км/ГОД}$	10	20	30	40	50	60	70	80	...	$V_k$
$Q_1$										
$Q_2$										
$Q_3$										
...										
$Q_n$										

2 На міліметровому папері наносяться криві тягової характеристики тепловоза  $F_k = f(v)$  та залежностей  $W = f(v)$  (рисунок 4.1) або електровоза (рисунок 4.2).

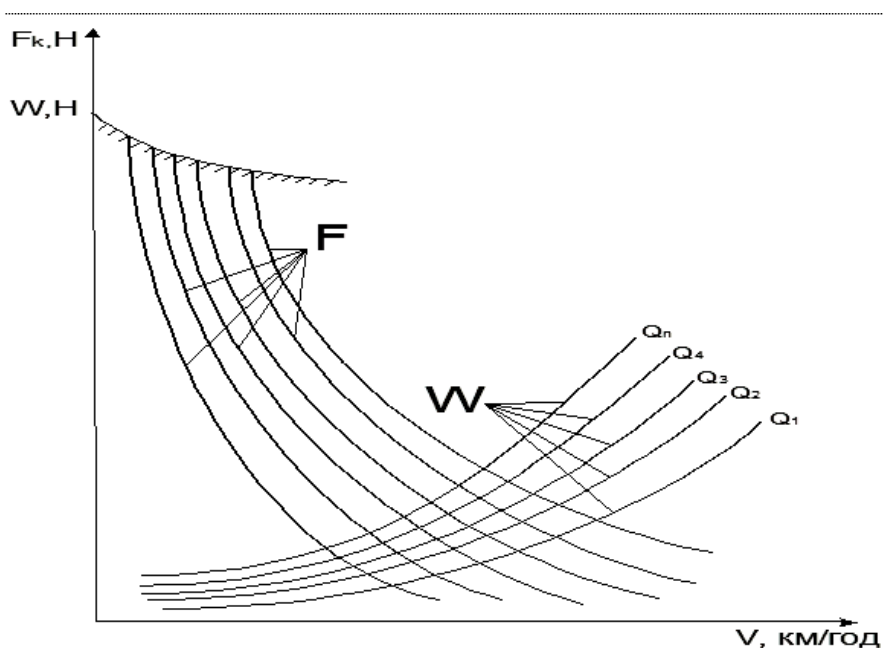


Рисунок 4.1 – Криві тягової характеристики тепловоза  $F_k = f(v)$  та залежностей питомого опору  $W = f(v)$

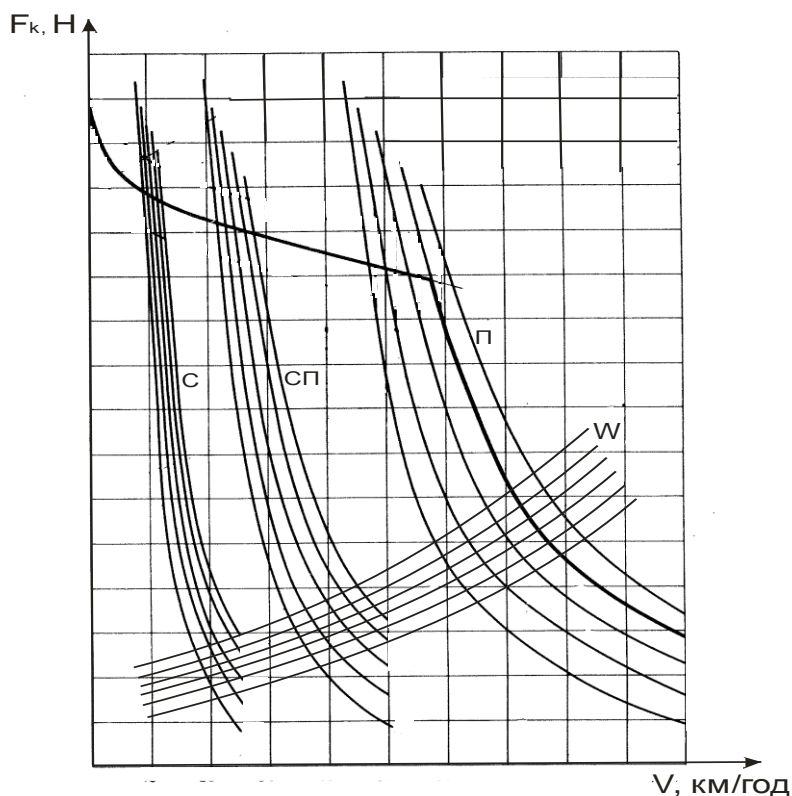


Рисунок 4.2 – Криві тягової характеристики електровоза  $F_k = f(v)$  та залежностей питомого опору  $W = f(v)$

Точки перетину кривих встановлюють значення швидкостей, які використовуються у наступному етапі розрахунків.

3 На міліметровому папері наносяться криві питомої витрати умовного палива тепловоза, а на електровозній тязі – криві питомої витрати електроенергії.

4 Для кожної градації маси складу на тепловозній тязі розраховується питома витрата умовного палива (таблиця 4.2), а на електровозній тязі – питома витрата електроенергії (таблиця 4.3).

5 Необхідно побудувати графік залежності питомої витрати палива  $n_0$  від швидкості та маси потяга  $n_0 = f(v, Q)$  (рисунок 4.3) і графік залежності питомих витрат електроенергії ( $e$ ) від швидкості і тяги потяга ( $e_0 = f(v, Q)$ ) (рисунок 4.4).

Таблиця 4.2 – Питома витрата умовного палива

Маса $Q, \text{ т}$	Швидкість, яка відповідає точкам перетину кривих, км/год, $F_k(v) \text{ і } W(v)$	Режим роботи	Витрата палива, яка відповідає швидкості та режиму роботи, кг/хв, $G = f(k, v)$	$Q \cdot v$	Питома витрата умовного палива, $10^4 \text{ ткм брутто,}$ $n = \frac{10^4 \cdot G \cdot 60 \cdot 1,43}{Q \cdot v}$
1	2	3	4	5	6
$Q_i$					
	...	...	...	...	...
$Q_{i+1}$					
	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...

Таблиця 4.3 – Питома витрата електроенергії

Маса $Q, \text{ т}$	Швид- кість, яка відповідає точкам перетину кривих, км/год, $F_k(v) \text{ і } W(v)$	Режим рабо- ти двигу- нів	Струм $I, \text{ А}$	Потуж- ність $N, \text{ кВт}$ год, $N = 10^{-3} \cdot I \cdot U$	$10^{-4} \cdot Q \cdot v,$ т км	Питома витрата електро- енергії, $\frac{\text{кВт} \cdot \text{год,}}{10^4 \text{ ткм}}$ $e = \frac{10N}{Q \cdot v} \left( \frac{5}{6} \right)$
1	2	3	4	5	6	7
$Q_i$						
	...	...	...	...	...	...
$Q_{i+1}$						
	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...



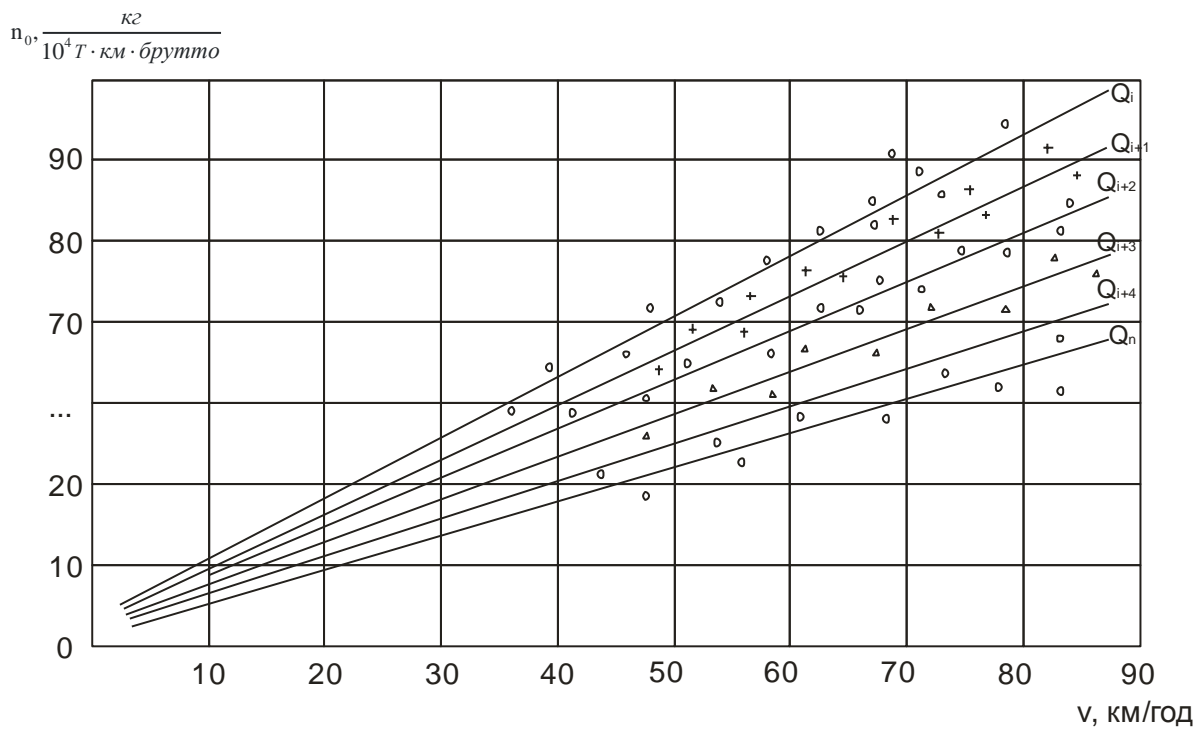


Рисунок 4.3 – Графік залежності питомої витрати палива  $n_0$  від швидкості та маси потяга  $n_0 = f(v, Q)$

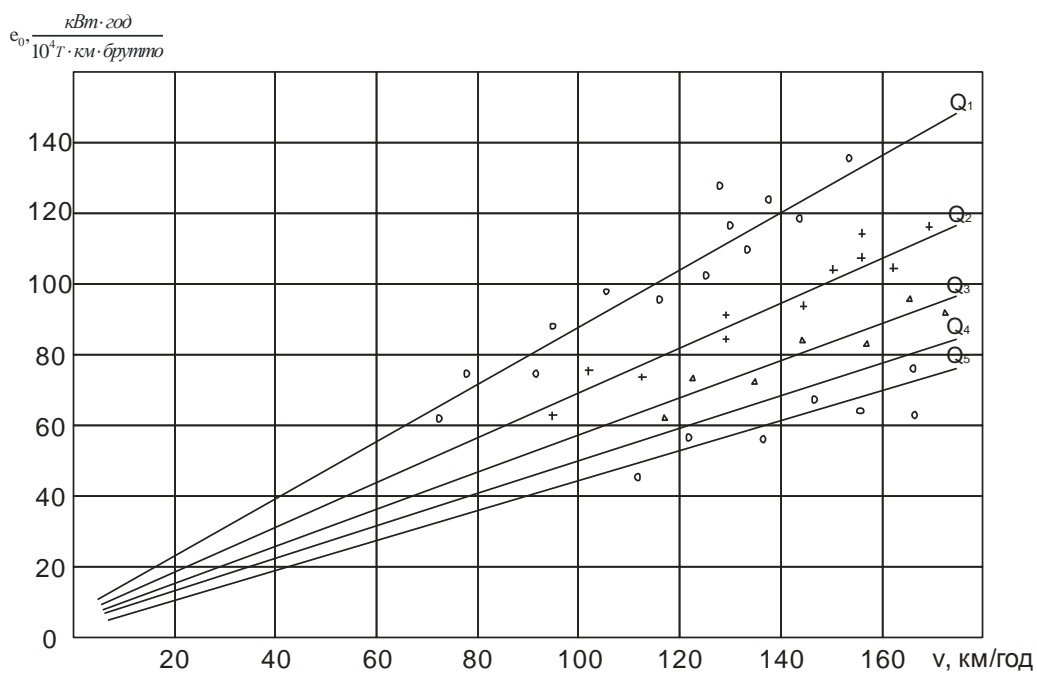


Рисунок 4.4 – Графік залежності питомих витрат електроенергії  $e_0$  від швидкості та маси потяга  $e_0 = f(v, Q)$

6 За результатами графічних побудов  $n_0(e_0) = f(v, Q)$  виконується виведення енергетичної залежності  $n_0(e_0) = S + Rv + T \frac{v}{Q}$  (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4 – Розрахунок коефіцієнтів S, R, T

П/П	$V_i,$ км/ГОД	$Q,$ Т	$n_0, (e_0)$	$\frac{v_i}{Q_i}$	$v_i^2$	$\frac{v_i^2}{Q_i}$	$n_0 \cdot v_i$	$\frac{n_0 \cdot v_i}{Q_i}$	$\frac{v_i^2}{Q_i^2}$
1									
2									
3									
...									
m	$\sum v_i$	$\sum Q$	$\sum n_0, (e_0)$	$\sum \frac{v_i}{Q_i}$	$\sum v_i^2$	$\sum \frac{v_i^2}{Q_i}$	$\sum n_0 \cdot v_i$	$\sum \frac{n_0 \cdot v_i}{Q_i}$	$\sum \frac{v_i^2}{Q_i^2}$

Коефіцієнт S, R, T розраховується

$$\begin{cases} m \cdot S + R \sum v_i + T \sum \frac{v_i}{Q_i} = \sum n_{oi} \\ S \sum v_i + R \sum v_i^2 + T \sum \frac{v_i^2}{Q_i} = \sum n_o \cdot v_i \\ S \cdot \sum \frac{v_i}{Q_i} + R \sum \frac{v_i^2}{Q_i} + T \sum \frac{v_i^2}{Q_i^2} = \sum \frac{n_o \cdot v_i}{Q_i} \end{cases}$$

де m – кількість рядків.

## 5 Зміна опору руху поїзда залежно від особливостей його формування

Вихідна норма витрати електроенергії і палива при нормуванні поїздів, склад яких відрізняється від типової моделі поїзда (тобто включають до себе не тільки чотиривісні вагони на роликових підшипниках), коректується за рахунок коефіцієнта  $K_w$

$$K_w = 1 + K'_w. \quad (5.1)$$

Коефіцієнт, що характеризує зміну опору поїзда від наявності в ньому вагонів різного типу визначається з виразу

$$K'_w = K''_w \cdot K_L, \quad (5.2)$$

де  $K''_w$  – коефіцієнт, що враховує зміну основного питомого опору нормованих вагонів стосовно опору вихідних вагонів при відсутності впливу опору локомотива;

$K_L$  – коефіцієнт, що характеризує вплив опору локомотива на опір поїзда.

Величина коефіцієнта  $K''_w$  при наявності у складі 8-вісних вагонів (залежно від частки за масою складу поїзда 8-вісних вагонів) визначається за таблицею 5.1.

Таблиця 5.1 – Коефіцієнт  $K''_w$  при різній частці за масою у складі поїзда 8-вісних вагонів

Частка за масою 8-вісних вагонів	Швидкість, км/год									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0,05	0,0068	0,004	0,0017	0,0005	0,0025	0,0020	0,0049	0,0058	0,0065	0,0072
0,1	0,0157	0,0080	0,0034	0,0011	0,0046	0,0057	0,0098	0,0117	0,0131	0,0145
0,2	0,0273	0,0161	0,0068	0,0022	0,0092	0,0132	0,0197	0,0235	0,0263	0,0291
0,3	0,0410	0,0242	0,0102	0,0033	0,0138	0,0207	0,0296	0,0353	0,0394	0,0437
0,4	0,0547	0,0323	0,0136	0,0044	0,0184	0,0282	0,0394	0,0471	0,0526	0,0583
0,5	0,0684	0,0404	0,0170	0,0056	0,0230	0,0357	0,0493	0,0588	0,0658	0,0729
0,6	0,0821	0,0485	0,0204	0,0067	0,0276	0,0433	0,0592	0,0706	0,0789	0,0875
0,7	0,0957	0,0566	0,0238	0,0078	0,0322	0,0508	0,0691	0,0824	0,0921	0,1020
0,8	0,1094	0,0647	0,0272	0,0089	0,0368	0,0583	0,0789	0,0942	0,1053	0,1166
0,9	0,1231	0,0728	0,0306	0,0101	0,0414	0,0658	0,0888	0,1060	0,1184	0,1312
1,0	0,1368	0,0809	0,0340	0,0112	0,0460	0,0733	0,0987	0,1177	0,1316	0,1458

Значення коефіцієнта  $K_L$  залежить від відносної маси складу поїзда  $Q'$ , що визначається відношенням

$$Q' = Q/P \quad (5.3)$$

де  $Q$  і  $P$  – маса складу поїзда і локомотива, т.

Величина коефіцієнта  $K_L$  залежно від швидкості руху поїзда і відносної маси поїзда приведена в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Залежність коефіцієнта  $K_L$  від швидкості і відносної маси складу поїзда

Віднос- на маса поїзда, т	Швидкість, км/год										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$Q'$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
2	0,483	0,486	0,488	0,49	0,491	0,492	0,493	0,493	0,493	0,494	
3	0,584	0,587	0,588	0,590	0,591	0,592	0,593	0,593	0,593	0,594	
4	0,652	0,654	0,655	0,657	0,659	0,659	0,66	0,661	0,661	0,661	
5	0,701	0,702	0,703	0,705	0,707	0,708	0,708	0,709	0,709	0,709	
6	0,737	0,739	0,741	0,742	0,743	0,744	0,744	0,745	0,745	0,746	
8	0,789	0,791	0,792	0,793	0,794	0,795	0,795	0,796	0,796	0,796	
10	0,824	0,825	0,826	0,827	0,828	0,829	0,829	0,83	0,830	0,830	
12	0,849	0,850	0,851	0,852	0,853	0,853	0,853	0,854	0,854	0,854	
14	0,867	0,869	0,870	0,871	0,872	0,872	0,872	0,872	0,872	0,873	
16	0,883	0,883	0,884	0,885	0,886	0,886	0,886	0,886	0,886	0,887	
18	0,894	0,895	0,896	0,896	0,897	0,897	0,897	0,898	0,898	0,898	
20	0,903	0,904	0,905	0,906	0,906	0,906	0,907	0,907	0,907	0,907	
22	0,912	0,912	0,913	0,914	0,914	0,914	0,914	0,915	0,915	0,915	
24	0,918	0,919	0,920	0,920	0,921	0,921	0,921	0,921	0,921	0,922	
26	0,924	0,925	0,925	0,926	0,926	0,927	0,927	0,927	0,927	0,927	
28	0,929	0,929	0,930	0,931	0,931	0,931	0,931	0,932	0,932	0,932	
30	0,934	0,935	0,935	0,935	0,935	0,935	0,935	0,936	0,936	0,936	

## 6 Вплив ступеня використання вантажопідйомності вагонів

Сили опору, які діють на поїзд при його русі, залежать від навантаження на вісь. При відхиленні статичних навантажень поїздів, що обертаються від 17 – 17,5 т, вихідна норма множиться на коефіцієнт  $K_q$ .

$$K_q = 1 + K'_\mu. \quad (6.1)$$

Величина  $K'_\mu$ , що зустрічається у практиці навантажень на вісь вантажних вагонів, приведена в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Коефіцієнт  $K'_\mu$  впливу ступенів використання вантажопідйомності вагонів

$q_0$ , т/вісь	Швидкість руху поїзда, км/год									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6	0,5044	0,6387	0,7748	0,9116	1,0338	1,1431	1,2372	1,3201	1,3893	1,4504
7	0,3948	0,3500	0,6065	0,7136	0,8093	0,8948	0,9684	1,0335	1,0875	1,1354
8	0,3126	0,3959	0,4802	0,5650	0,6408	0,7085	0,7668	0,8182	0,8611	0,8990
9	0,2486	0,3148	0,3818	0,4493	0,5095	0,5633	0,6097	0,6506	0,6847	0,7148
10	0,1974	0,2500	0,3033	0,3568	0,4047	0,4474	0,4843	0,5167	0,5438	0,5678
11	0,1555	0,1969	0,2389	0,2810	0,3187	0,3524	0,3814	0,4070	0,4283	0,4472
12	0,1206	0,1528	0,1853	0,2181	0,2473	0,2734	0,2959	0,3158	0,3323	0,3470
13	0,0911	0,1154	0,1399	0,1646	0,1867	0,2064	0,2234	0,2384	0,2509	0,2620
14	0,0658	0,0833	0,1011	0,1189	0,1349	0,1491	0,1614	0,1722	0,1813	0,1892
15	0,0439	0,0556	0,0674	0,0793	0,0899	0,0994	0,1076	0,1148	0,1209	0,1262
16	0,0247	0,0312	0,0379	0,0446	0,0506	0,0559	0,0605	0,645	0,0679	0,0709
17	0,0077	0,0098	0,0119	0,0140	0,0159	0,0175	0,0190	0,0203	0,0213	0,0223
17,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	-0,0073	-0,0093	-0,0112	-0,0132	-0,0150	-0,0166	-0,0179	-0,0192	-0,0202	-0,0210
19	-0,0208	-0,0263	-0,0319	-0,0375	-0,0426	-0,0471	-0,0509	-0,0544	-0,0572	-0,0597
20	-0,0329	-0,0417	-0,0505	-0,0595	-0,0674	-0,0746	-0,0807	-0,0861	-0,0906	-0,0946
21	-0,0439	-0,0555	-0,0674	-0,0793	-0,0899	-0,0994	-0,1076	-0,1148	-0,1208	-0,1261
22	-0,0538	-0,0682	-0,0827	-0,0973	-0,1103	-0,1220	-0,1320	-0,1409	-0,1483	-0,1548
23	-0,0629	-0,0797	-0,0967	-0,1137	-0,1290	-0,1426	-0,1544	-0,1647	-0,1733	-0,1810

## 7 Вплив труднощів профілю колії

Для обліку характеру профілю колії вихідна норма, визначена для умов руху поїзда на площадці відповідно до конкретних умов, змінюється з урахуванням введення у норму коефіцієнта  $K_i$ , що визначає зміну витрати електроенергії або палива зі збільшенням механічної роботи, яка затрачується на подолання підйомів і кривих даної конкретної ділянки.

Коефіцієнт труднощів профілю  $K_i$  залежить від величини еквівалентного підйому  $i_e$  маси поїзда і швидкості руху та визначається виразом

$$K_i = 1 + a \cdot i_e, \quad (7.1)$$

де  $i_e$  – еквівалентний підйом, тобто умовний однаковий на всьому проміжку підйом, що дорівнює за довжиною нормованій ділянці, на якому механічна робота для пересування поїзда дорівнює механічній роботі, затрачуваній на нормованій ділянці при проведенні поїзда з однакової маси з однаковою швидкістю;

$a$  – коефіцієнт, що залежить в основному від швидкості руху.

Величина еквівалентного підйому визначається за формулою

$$i_e = \frac{\sum i_x l_x + 12 \sum \alpha + \sum (i_{ш} - \omega_{ш}) l_{ш}}{L} - \Delta i_i, \quad (7.2)$$

де  $i_x$  і  $l_x$  – відповідно величина ухилів, ‰, і довжина, м;

$\sum i_x l_x$  – алгебраїчна сума добутків цих величин, узятих для кожного елемента профілю;

$\sum \alpha$  – сума центральних кутів усіх кривих елементів шляху, градуси.

Якщо відома довжина  $l_k$  і радіус  $R_k$  кожної кривої, то вираз  $12 \sum \alpha$  може бути замінено на вираз  $\sum \frac{57,3 \cdot l_k}{R_k}$ .

Коефіцієнт  $a$  у формулі (7.1) для вантажних поїздів залежно від швидкості руху буде мати значення, наведені в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Коефіцієнт  $\alpha$  для вантажних поїздів

Швидкість поїзда, км/год	30	40	50	60	70	80	90	100
$\alpha$	0,570	0,523	0,479	0,433	0,389	0,343	0,298	0,255

У тих випадках, коли застосовується коефіцієнт  $K_{\mu}$ , який враховує зміну вихідної норми залежно від запланованого навантаження на вісь, а також для порожнього складу, величина коефіцієнта важкості профілю  $K_i$  визначається так

$$K_i = 1 + a \cdot C_a \cdot i_e, \quad (7.3)$$

де  $C_a$  – коефіцієнт, що визначається залежно від навантаження на вісь для вантажного складу і від швидкості для порожнього складу (таблиця 7.2).

Таблиця 7.2 – Значення коефіцієнта  $C_a$  залежно від навантаження на вісь для складів навантаженого поїзда

Навантаження на вісь, т	6	8	10	12	14	16	18	20	22	23
$C_a$	0,605	0,680	0,750	0,825	0,900	0,970	1,025	1,060	1,075	1,08

Значення  $\alpha$  для пасажирських складів приведені в таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 – Величина коефіцієнта  $\alpha$ 

Локомотив	Швидкість, км/год							
	30	50	70	90	100	120	140	160
ТЕП60, ТЕП70	0,370	0,306	0,252	0,208	0,188	0,156	0,133	
ЧС2, ЧС4	0,449	0,381	0,305	0,241	0,206	0,175	0,141	0,122
ЧС7, ЧС8	0,278	0,253	0,208	0,172	0,158	0,135	0,117	0,102
ВЛ60	0,579	0,475	0,383	0,311	0,261	0,213		

## 8 Вплив температурних умов

Величину вихідної норми витрати палива або електроенергії приймають при відповідній температурі зовнішнього повітря  $\tau = +15^{\circ}\text{C}$ .

Для обліку температурних умов у розрахунок норми вводиться температурний коефіцієнт  $K_{\tau}$  для тепловозної тяги (таблиця 8.1) й електровозної і моторвагонної тяги (таблиця 8.2).

Таблиця 8.1 – Коефіцієнт  $K_{\tau}$  для тепловозної тяги

$\tau, ^{\circ}\text{C}$	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
$K_{\tau}$	1,115	1,102	1,089	1,076	1,064	1,051	1,038
$\tau, ^{\circ}\text{C}$	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35
$K_{\tau}$	1,025	1,012	1,0	0,985	0,972	0,959	0,945

Таблиця 8.2 – Коефіцієнт  $K_{\tau}$  для електровозної і моторвагонної тяги

$\tau, ^{\circ}\text{C}$	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
$K_{\tau}$	1,194	1,173	1,152	1,130	1,108	1,086	1,065
$\tau, ^{\circ}\text{C}$	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35
$K_{\tau}$	1,043	1,022	1,00	0,978	0,956	0,936	0,913

За середню багаторічну температуру на залізничному транспорті приймають середню температуру, що мала місце в період року, який відповідає нормованому періоду, за останні 50 років.

У курсовій роботі середню багаторічну температуру на залізничному транспорті приймаємо на день виконання даного розділу.



## 9 Вплив технічного стану локомотивів

Спрацювання вузлів та деталей локомотивів і зміна їх характеристик у процесі тривалої експлуатації викликає збільшення витрати енергоресурсів, які враховуються при нормуванні коефіцієнтом  $K_{т.с}$  від віку тепловозів та їх загального пробігу, а також від пробігу між черговими деповськими ремонтами ПРЗ (таблиця 9.1).

Таблиця 9.1 – Залежність коефіцієнта  $K_{т.с}$  від віку тепловозів та їх напрацювання

Період експлуатації	До ПРЗ			Між 1ПРЗ та 2ПРЗ			Після 2ПРЗ		
	Пробіг до 100 тис.км	100-200 тис.км	Більше 200 тис.км	Пробіг до 100 тис.км	100-200 тис.км	Більше 200 тис.км	Пробіг до 100 тис.км	100-200 тис.км	Більше 200 тис.км
<b>Виготовлення – КР1</b>									
2ТЕ10В/І	-	1,027	1,031	1,025	1,033	1,047	1,034	1,042	1,056
М62, 2М62	-	1,018	1,022	1,015	1,024	1,036	1,026	1,034	1,045
2ТЕ116	-	1,022	1,025	1,016	1,026	1,040	1,028	1,037	1,048
ТЕП70	-	1,025	1,028	1,021	1,029	1,042	1,032	1,040	1,052
<b>КР1-КР2</b>									
2ТЕ10В/І	1,036	1,055	1,064	1,048	1,062	1,088	1,057	1,086	1,109
М62, 2М62	1,028	1,046	1,060	1,040	1,056	1,074	1,048	1,078	1,103
2ТЕ116	1,030	1,049	1,062	1,042	1,060	1,080	1,053	1,081	1,105
ТЕП70	1,034	1,052	1,063	1,044	1,060	1,082	1,054	1,083	1,107
<b>Після КР2</b>									
2ТЕ10В/І	1,085	1,112	1,138	1,103	1,126	1,144	1,110	1,149	1,168
М62, 2М62	1,072	1,102	1,125	1,090	1,115	1,132	1,102	1,138	1,162
2ТЕ116	1,077	1,108	1,132	1,091	1,121	1,140	1,104	1,142	1,165
ТЕП70	1,082	1,110	1,133	1,092	1,123	1,142	1,106	1,145	1,166

## 10 Додаткові витрати електричної енергії і палива, пов'язані із зупинкою поїзда

Витрати електроенергії і палива, пов'язані із відновленням кінетичної енергії поїзда, втраченої у процесі гальмування  $\Delta e_T$  і  $\Delta n_T$ , також враховують у нормі. Величина цих витрат на одну зупинку, що приходить на 100 поїзд.км, приведена залежно від ваги поїзда і швидкості початку гальмування в таблицях 10.1-10.4. Частка витрати електроенергії і палива, пов'язана із втратами енергії на гальмування і розгін, визначається шляхом множення  $\Delta e_T$  і  $\Delta n_T$  на відносну кількість зупинок, тобто за формулою

$$Z'=100z/L \quad (10.1)$$

де  $z$  – кількість зупинок за графіком;

$L$  – довжина ділянки, км.

На електровозах та електропоїздах постійного струму до витрати електроенергії, що пов'язана із зупинками поїздів, включають витрати енергії у пускових реостатах. Питома величина витрати електричної енергії для відшкодування витрат у пускових реостатах електровозів на одну зупинку, віднесена до 100 км шляху,  $\Delta e_p$ , приведена в таблиці 10.5.

Таблиця 10.1 – Питома величина витрат електричної енергії (кВт·год/10 тис. ткм брутто) для компенсування витрат на гальмування поїзда при його зупинці (вантажні електровози)

Маса поїзда, т	Швидкість, км/год									
	30	40	50	60	70	80	90	100		
500	1,470	2,612	4,082	5,876	8,004	10,452	13,218	16,012		
800	1,335	2,375	3,710	5,344	7,277	9,501	12,017	14,708		
1000	1,290	2,295	3,587	5,167	7,026	9,180	11,612	14,176		
1500	1,230	2,186	3,418	4,921	6,698	8,743	11,067	13,614		
2000	1,200	2,134	3,336	4,802	6,539	8,535	10,802	13,386		
2500	1,183	2,102	3,287	4,732	6,439	8,410	10,652	13,234		
3000	1,170	2,079	3,267	4,713	6,375	8,328	10,537	13,113		
3500	1,160	2,065	3,236	4,647	6,326	8,261	10,452	13,024		
4000	1,154	2,053	3,220	4,615	6,290	8,214	10,383	12,951		
4500	1,149	2,043	3,207	4,599	6,260	8,179	10,347	12,913		
5000	1,145	2,036	3,197	4,586	6,234	8,153	10,312	12,876		

Таблиця 10.2 – Питома величина витрат електричної енергії (кВт·год/10 тис. ткм брутто) для компенсування витрат на гальмування поїзда при його зупинці (пасажирські електровози)

Маса поїзда, т	Швидкість, км/ год															
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160		
500	1,352	2,408	3,761	5,421	7,375	9,631	12,180	15,1	18,2	21,00	24,00	26,80	29,64	32,4		
600	1,314	2,338	3,650	5,260	7,375	9,351	11,682	14,600	17,680	20,35	23,10	25,85	28,8	31,65		
700	1,298	2,281	3,565	5,142	7,160	9,120	11,550	14,250	17,260	19,76	22,50	25,20	28,15	31,1		
800	1,262	2,242	3,510	5,050	6,988	8,980	11,370	14,01	16,980	19,50	22,05	24,60	27,45	30,5		
900	1,244	2,210	3,456	4,980	6,870	8,850	11,200	13,820	16,710	19,20	21,75	24,25	27,05	29,85		
1000	1,230	2,186	3,420	4,920	6,770	8,750	11,080	13,680	16,530	19,00	21,50	24,00	26,75	29,35		
1100	1,220	2,170	3,390	4,872	6,700	8,675	10,0	13,550	16,400	18,76	21,25	23,75	26,5	29,1		
1200	1,209	2,155	3,360	4,840	6,642	8,604	10,088	13,450	16,280	18,65	21,05	23,55	26,3	28,9		

Таблиця 10.3 – Питома величина витрат палива (кг/10 тис. ткм брутто) для компенсування витрат на гальмування поїзда при зупинці (вантажні тепловози)

Маса поїзда, Т	Швидкість, км/год								
	30	40	50	60	70	80	90		
500	0,515	0,916	1,431	2,061	2,791	3,664	4,638		
800	0,451	0,802	1,245	1,803	2,454	3,205	4,056		
1000	0,429	0,762	1,191	1,716	2,335	3,049	3,860		
1500	0,400	0,711	1,111	1,600	2,178	2,845	3,601		
2000	0,386	0,685	1,072	1,543	2,100	2,743	3,471		
2500	0,377	0,671	1,047	1,508	2,052	2,681	3,392		
3000	0,372	0,660	1,031	1,485	2,022	2,641	3,343		
3500	0,368	0,653	1,020	1,469	1,999	2,611	3,305		
4000	0,364	0,648	1,012	1,460	1,984	2,591	3,279		
4500	0,361	0,643	1,005	1,447	1,970	2,572	3,256		
5000	0,358	0,639	0,999	1,440	1,958	2,557	3,235		

Таблиця 10.4 – Питома величина витрат палива (кг/10 тис. ткм брутто) для компенсування витрат на гальмування поїзда при зупинці (пасажирські тепловози)

Маса поїзда, т	Швидкість, км/ год															
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160		
500	0,430	0,764	1,193	1,722	2,32	3,058	3,872	4,755	5,782	6,825	7,875	8,974	10,115	11,15		
600	0,415	0,737	1,152	1,660	2,26	2,955	3,734	4,617	5,579	6,475	7,49	8,54	9,605	10,71		
700	0,405	0,718	1,124	1,620	2,20	2,884	3,647	4,501	5,447	6,349	7,35	8,33	9,36	10,385		
800	0,397	0,704	1,100	1,590	2,159	2,825	3,571	4,410	5,338	6,265	7,175	8,155	9,14	10,18		
900	0,391	0,697	1,088	1,568	2,117	2,787	3,528	4,354	5,30	6,195	7,105	8,050	9,02	10,06		
1000	0,386	0,687	1,072	1,546	2,101	2,745	3,478	4,288	5,191	6,090	7,035	7,98	8,85	9,94		
1100	0,382	0,679	1,060	1,527	2,080	2,688	3,395	4,242	5,096	5,985	6,895	7,84	8,73	9,74		
1200	0,349	0,621	0,972	1,400	1,904	2,485	3,150	3,893	4,711	5,53	6,37	7,21	8,62	9,55		

Таблиця 10.5 – Питома величина витрат електроенергії (кВт·год/10 тис.ткм бруто) для відшкодування втрат у пускових реостатах електровозів

Маса поїзда, т	Швидкість, км/год								
	30	40	50	30	40	50	30	40	50
	ВЛ8			ВЛ10, ВЛ11 <sup>м</sup>			ДЕ1		
500	0,55	0,97	1,52	0,58	1,03	1,61	0,59	1,035	1,62
1000	0,48	0,85	1,32	0,51	0,9	1,4	0,52	0,91	1,41
2000	0,44	0,77	1,22	0,47	0,82	1,29	0,48	0,83	1,3
3000	0,42	0,74	1,16	0,44	0,78	1,23	0,45	0,79	1,24
4000	0,41	0,72	1,12	0,43	0,76	1,18	0,44	0,77	1,19
	ЧС2			ЧС7					
500	0,43	0,79	1,21	0,46	0,85	1,3			
800	0,41	0,74	1,12	0,44	0,79	1,2			
1000	0,39	0,71	1,09	0,42	0,76	1,17			
1200	0,38	0,70	1,07	0,41	0,75	1,15			
1400	0,37	0,69	1,06	0,4	0,74	1,14			

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Деев, В. В. Тяга поездов [Текст] : учеб. пособие для вузов. / В. В. Деев, Г. А. Ильин, Г. С. Афонин. – М. : Транспорт, 1987. – 264 с.

2 Гребенюк, П. Т. Тяговые расчеты [Текст] : справочник / П. Т. Гребенюк, А. Н. Долганов, А. И. Скворцова. – М. : Транспорт, 1987. – 272 с.

3 Інструкція по технічному нормуванню витрат електричної енергії і палива локомотивами на тягу поїздів [Текст] : ЦТ 0059. – К., 2003. – 84 с.

4 Основи локомотивної тяги [Текст] : метод. вказівки. – Харків, 2007. – 38 с. – 3726.





