

БОБИРЬ Д.В., БІЛОКОНЬ І.М., ОЧКАСОВ О.Б., СЕРДЮК В.Н.

ТЕОРІЯ ЛОКОМОТИВНОЇ ТЯГИ ТЯГОВІ РОЗРАХУНКИ ДЛЯ МАНЕВРОВОЇ РОБОТИ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК



ДНІПРО
2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Теорія локомотивної тяги.
Тягові розрахунки для маневрової роботи

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Дніпро
2023

УДК 629.421.004

Т 33

Авторський колектив:

Бобирь Д. В., Білоконь І. М., Очкасов О. Б., Сердюк В. Н.

Рекомендовано вченою радою

Українського державного університету науки і технологій

як навчальний посібник

(протокол № 4 від 23 червня 2022 р.)

Т 33 Теорія локомотивної тяги. Тягові розрахунки для маневрової роботи: навчальний посібник / Д. В. Бобирь, І. М. Білоконь, О. Б. Очкасов, В. Н. Сердюк; за ред. канд. техн. наук, доц. В. Н. Сердюка; УДУНТ; ННІ «Дніпров. ін-т інфраструктури і трансп.». – Дніпро, 2023. – 130 с.

ISBN 978-966-2394-68-9

У навчальному посібнику викладено методику тягових розрахунків для маневрової роботи.

Призначений для опанування освітньої компоненти «Теорія локомотивної тяги» та дипломного проєктування за спеціальністю 273 «Залізничний транспорт» для ОПП «Локомотиви та локомотивне господарство».

Іл. 34, табл. 18, бібліогр. 3 назв.

УДК 629.421.004



Цей твір ліцензовано на умовах Ліцензії Creative Commons [«Attribution-NonCommercial-ShareAlike» 4.0 International \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) («Із зазначенням авторства – Некомерційна – Поширення на тих самих умовах» 4.0 Міжнародна)

ISBN 978-966-2394-68-9
DOI 10.15802/978-966-2394-68-9

© Бобирь Д. В., Білоконь І. М., Очкасов О. Б.,
Сердюк В. Н., 2023
© Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2023

Зміст

Терміни та визначення.....	5
Вступ	12
ГЛАВА 1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ.....	14
1.1. Точність розрахунків	14
1.2. Опір руху рухомого складу	15
1.3. Гальмівні розрахунки	25
1.4. Сила тяги	35
1.5. Результуюча сила.....	41
1.6. Розрахунок маси, швидкості, часу та довжини шляху в маневровому переміщенні	43
ГЛАВА 2. КООРДИНАТИ ТА ДОВЖИНА ШЛЯХУ МАНЕВРОВИХ РЕЙСІВ І НАПІВРЕЙСІВ.....	52
2.1. Загальні положення.....	52
2.2. Координати та довжина шляху при насуві та розформуванні состава на сортувальній горці	53
2.3. Координати та довжина шляху у зворотному витягуванні состава з парку формування на колію насуву	61
2.4. Координати та довжина шляху при витягуванні составу з парку формування до парку відправлення	66
ГЛАВА 3. ТЯГОВІ РОЗРАХУНКИ МАНЕВРОВИХ ОПЕРАЦІЙ.....	70
3.1. Основні завдання	70
3.2. Розрахунок параметрів руху на заданому інтервалі шляху	72
3.3. Розрахунок шляху та часу за швидкістю руху на заданому інтервалі	73
3.4. Розрахунок максимально можливої швидкості розгону в маневровому напіврейсі методом ітерації	75
ГЛАВА 4. ПЕРЕВІРКА ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН НА НАГРІВАННЯ	83
4.1. Основні положення.....	83
4.2. Розрахунок перевищень температур обмоток.....	84

4.3. Врахування впливу витрати охолоджуючого повітря на нагрівання тягових електричних машин.....	87
ГЛАВА 5. ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА МАНЕВРОВИМИ ТЕПЛОВОЗАМИ	90
5.1. Розрахунок витрати пального на виконання маневрової операції.....	90
5.2. Визначення ККД передачі тепловоза та тягового електроприводу	95
5.3. Розрахунок витрати палива під час роботи дизеля на холостому ходу.....	97
Список літератури.....	102
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК	103
Додаток А. ТЯГОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАНЕВРОВИХ ЛОКОМОТИВІВ.....	106
Додаток Б. ТЕПЛОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ.....	110
Додаток В. СТРУМОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВОЗІВ.....	114
Додаток Г. ВИТРАТИ ПАЛИВА МАНЕВРОВИМИ ТЕПЛОВОЗАМИ	120

Терміни та визначення

У посібнику застосовуються наступні терміни з відповідними визначеннями.

Автоматичне пневматичне гальмо рухомого складу: пневматичне гальмо рухомого складу, що забезпечує екстрене гальмування у разі роз'єднання та/або розриву гальмівної магістралі повітропроводу.

Автостопне гальмування: екстрене гальмування, викликане спрацьовуванням автостопа на локомотиві, що враховує час, необхідний для впливу пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації і автостопа на гальмівну систему поїзда.

Важкий (швидкісний) підйом: підйом, що крутіший за розрахункового, за яким, виходячи за умови невинного руху з нерівномірною швидкістю, визначають розрахункову масу поїзда з урахуванням використання його кінетичної енергії.

Вибіг: рух локомотива з вагонами або без вагонів, коли тяговий двигун локомотива працює в режимі холостого ходу (на спуску, в інших випадках зниження швидкості руху, на нейтральній вставці у разі електричної тяги). Також – процес руху поїзда після розгону від швидкості v_k (кінцевої швидкості в кінці розгону) до кінцевої швидкості вибігу v_{kv} за від'ємного значення результуючої сили R_k , що утворюється в результаті дії суми всіх сил опору руху поїзда W за нульове значення сили тяги локомотива.

Гальмівний шлях: відстань, що проходить поїзд за час від моменту впливу на прилади та пристрої для управління гальмівною системою до повної зупинки. Довжина гальмівного шляху залежить від виду гальмування.

Гальмування: процес руху поїзда після розгону або вибігу від швидкості v_k або v_{kv} (кінцевої швидкості розбігу або вибігу) до кінцевої швидкості гальмування v_{kt} при від'ємному значенні результуючої сили R , що утворюється в результаті дії гальмівної сили B_r та суми всіх сил опору руху W за нульовому значенні сили тяги локомотива

F_d .

Голова поїзда (состава): перша за напрямком руху одиниця рухомого состава (локомотив або вагон).

Екстрене гальмування: гальмування, що застосовується у випадках, які вимагають негайної зупинки рухомого складу шляхом застосування максимальної гальмівної сили (екстреної розрядки гальмівної магістралі).

Електричне гальмування: гальмування тягового рухомого складу, під час якого гальмівна сила створюється при перетворенні кінетичної енергії в електричну енергію шляхом переведення тягових електродвигунів в генераторний режим, а одержувана електроенергія або повертається в тягову мережу, або розсіюється в гальмівних резисторах.

Електровоз: неавтономний локомотив, що приводиться до руху встановленими на ньому тяговими електродвигунами, які отримують енергію від енергосистеми через тягові підстанції, контактну мережу або від власної акумуляторної батареї.

Електропневматичне гальмо рухомого складу: гальмо рухомого складу з електричним керуванням пневматичними гальмами.

Затяжний спуск: спуск, співвідношення крутизни та протяжності якого встановлено в правилах технічної експлуатації залізниць.

Зворотний перехід ступеня збудження тягових електродвигунів: перехід від меншого збудження тягових електродвигунів до більшого за зменшення швидкості руху.

Значення сили позитивне: коли напрямок сили збігається з напрямком руху.

Значення сили від'ємне: коли напрямок сили протилежний напрямку руху.

Зрушення (чисте зрушення): процес від початку руху локомотива до моменту зрушення останнього вагона за позитивному значенні результуючої сили R , що складається з сили тяги локомотива F_d та суми всіх сил опору руху поїзда W .

Зрушення умовне: процес від початку руху локомотива до моменту, коли останній вагон, що зрушив з місця, пройде шлях 5 м за позитивному значенні результуючої сили R , що складається з сили тяги локомотива F_d та суми всіх сил опору руху поїзда W .

Зчіпна вага локомотива: службова (облікова) маса локомотива, що діє у вигляді сили на рейки та забезпечує зчеплення з ними коліс тягового засобу, що дозволяє перетворити обводове зусилля на ободі

рушійних коліс у силу тяги. Зчіпну вагу приймають по службовій (облікової) масі з $1/3$ запасу палива і піску (при електротязі – піску). Зчіпна вага маневрових локомотивів, якщо це конструктивно передбачено, може бути збільшена за рахунок укладання спеціальних плит, інших тягових засобів – за рахунок маси вантажу, що перевозиться.

Під час виконання тягових розрахунків слід звертати увагу на те, що в багатьох джерелах, в тому числі і заводських даних, зчіпна вага локомотива (всупереч Правилам тягових розрахунків для поїзної роботи [1]) представлена з $2/3$, а не $1/3$ запасу палива та/або піску, що вимагає коригування тягової характеристики (обмеження по зчепленню), а також зміни тривалих або розрахункових сили тяги та швидкості руху. Це ж відноситься і до випадків зміни зчіпної ваги за рахунок спеціальних плит або вантажу.

Керівний спуск: найбільший по крутизні спуск протяжністю не менше гальмівного шляху, що розраховується з урахуванням опору в кривих за їх наявності.

Керівний ухил (розрахунковий підйом): найбільший затяжний підйом, за значенням якого встановлюється норма маси поїзда за умов одиночної тяги та розрахункової мінімальної рівномірної швидкості руху.

Корисна довжина колії: частина повної довжини колії, на якій встановлюється рухомий склад без порушення безпеки руху по суміжних коліях. Корисна довжина може обмежуватися вихідними або маневровими світлофорами, ізолюючими стиками колійної ділянки рейкового ланцюга, граничними стовпчиками, стрілочними переводами, упорами (початком засипки баластної призми упору).

Кран екстреного гальмування: гальмівний кран, що служить для випуску повітря з гальмівної магістралі рухомого складу та приведення в дію автоматичних гальм у разі необхідності екстреної зупинки.

Кратна тяга: тяга двома або декількома локомотивами на ділянці ухилів крутіше розрахункового, за якою зберігається уніфікована маса поїзда.

Локомотив: залізничний тяговий рухомий склад, призначений для забезпечення пересування по залізничних коліях поїздів, груп або окремих вагонів, спеціального нетягового рухомого складу.

Магнітнорейкове гальмо рухомого складу: гальмо рухомого складу, що створює гальмівне зусилля електромагнітним притисненням гальмівного башмака до рейки.

Маневровий порядок руху: організація руху коліями промисло-

вих підприємств, за якою приймання та відправлення маневрових составів здійснюється за маневровими сигналами порядком, встановленим в техніко-розпорядчому акті та Інструкції про порядок обслуговування і організації руху.

Напрямок руху поїзда (состава, локомотива) прямий: рух, спрямований від точки відліку початку координат L_0 . Під час руху у прямому напрямку координати положення голови $L_{\text{п}}$ та хвоста $L_{\text{к}}$ поїзда (состава, локомотива) збільшуються.

Напрямок руху поїзда (состава, локомотива) зворотний: рух, спрямований до точки відліку початку координат L_0 . Під час руху у зворотному напрямку координат положення голови $L_{\text{п}}$ і хвоста $L_{\text{к}}$ поїзда (состава, локомотива) зменшуються.

Опір руху поїзда: некеровані сили, спрямовані протилежно руху поїзда. Розрізняють основний опір, що діє постійно, і додаткові, що з'являються в залежності від умов руху. Опір, віднесений до однієї тони маси локомотива, вагонів або поїзда, називають питомим.

Основний опір руху поїзда виникає від: тертя в підшипниках букс; кочення коліс по рейках; нерівності рейкової колії; ковзання коліс по рейках; тиску на рейки рухомого складу; роботи поглинаючих апаратів автозчеплень та інш.

Підштовхуючий локомотив: локомотив, що встановлюється в хвості поїзда, на допомогу ведучому локомотиву на окремих перегонах або частині перегону для освоєння уніфікованої маси поїзда або для скорочення часу ходу по лімітуючих перегонах, що обмежують пропускну здатність.

Подвійна тяга: вид кратної тяги, яку застосовують для збільшення провізної здатності. Водночас в голові поїзда знаходяться два діючих локомотива, що працюють за системою багатьох одиниць, обладнаних синхронним управлінням, або обслуговуються окремо двома локомотивними бригадами.

Поїзд: сформований та зчеплений склад вагонів з одним або декількома діючими локомотивами або моторними вагонами, що має встановлені сигнали, а також локомотиви без вагонів і спеціальний самхідний залізничний рухомий склад, що відправляється на перегін та ті що знаходяться на перегоні.

Поїзний порядок руху: організація руху на під'їзних і сполучних залізничних коліях, за якою прийом і відправлення поїздів здійснюються одним із засобів сигналізації та зв'язку під час руху поїздів,

встановленим в Правилах технічної експлуатації залізничного промислового транспорту.

Пневматичне гальмо рухомого складу: гальмо рухомого складу з пневматичним керуванням.

Протизюзна система: система, що запобігає пошкодженню колісних пар під час гальмування через ковзання, коли сила зчеплення коліс з рейками менше гальмівної сили.

Прямий перехід ступеня збудження тягових електродвигунів: перехід від більшого збудження до меншого за збільшення швидкості руху.

Рекуперативне гальмування: електричне гальмування тягового рухомого складу, що здійснюється електродинамічним гальмом, при якому вивільнена при переведенні тягових електродвигунів в генераторний режим електрична енергія передається в контактну мережу.

Реостатне гальмування: електричне гальмування тягового рухомого складу, що здійснюється електродинамічним гальмом, при якому вивільнена при переведенні тягових електродвигунів в генераторний режим електрична енергія розсіюється в гальмівних резисторах, встановлених на тяговому залізничному рухомому складі.

Розгін: процес руху поїзда від початкової швидкості $v_{\text{п}}$ до кінцевої швидкості $v_{\text{к}}$ у режимі тяги при позитивному значенні результуючої сили R , що складається з сили тяги локомотива $F_{\text{д}}$ та суми всіх сил опору руху поїзда W .

Розрахункова маса локомотива: службова (облікова) маса локомотива, що враховується при розрахунках маси поїзда, сил опору руху, гальмівних сил. Розрахункову масу локомотива приймають з 2/3 запасу палива та піску (при електротязі – піску).

Сила поздовжня динамічна: сила ударного характеру, що виникає під час перехідних режимів руху, що діє протягом короткого проміжку часу та містить один або кілька піків навантаження.

Сила тяги: створювана двигуном локомотива у взаємодії з рейкою керована зовнішня сила, прикладена до рухомих коліс локомотива в напрямку його руху. Розрізняють сили тяги: дотичну, по зчепленню, на зчепленні та динамометричну.

Сила тяги динамометрична: дійсна сила, що вимірюється динамометром на зчіпному приладі першого вагона. У разі прискореного руху ця сила менша за сили тяги на зчепленні, тому що частина її витрачається на підвищення кінетичної енергії самого локомотива і не передається составу.

Сила тяги дотична: дійсна сила тяги, прикладена до ободів рушійних колісних пар локомотива.

Сила тяги на зчепленні: сила тяги, прикладена до автозчеплення між локомотивом і першим вагоном. У разі рівномірного руху вимірюється безпосередньо і дорівнює динамометричній, у разі нерівномірного руху визначається додаванням або відніманням сили, що витрачається на прискорення або уповільнення локомотива (поїзда).

Сила тяги по зчепленню: дотична сила тяги, яка обмежується зчепленням коліс з рейками.

Службове гальмування: гальмування, що забезпечує плавне зниження швидкості або зупинку рухомого складу в заздалегідь передбаченому місці шляхом поступового збільшення гальмівної сили (поступової розрядки гальмівної магістралі). Службове гальмування може бути регульовальне і повне (на більш короткій відстані).

Службова (облікова) маса локомотива: маса спорядженого (готового до роботи) локомотива, що враховується в тягових розрахунках. Масу тепловоза (дизельної секції, моторного вагона з дизельними двигунами) враховують з $1/3$ або $2/3$ запасу палива та піску, електровоза (моторного вагона з електричними двигунами) – з $1/3$ або $2/3$ запасу піску. Службова маса локомотива в певних випадках може змінюватися за рахунок його довантаження (див. зчіпна вага локомотива).

Маса локомотива (дизельної секції, моторного вагона) без спорядження (в порожньому стані) враховується у разі транспортування в складі поїзда як нетягового засобу (наприклад, в ремонт, при передислокації, надходження із заводу). Якщо тяговий засіб транспортується для роботи на іншому об'єкті в спорядженому стані, його маса в складі поїзда враховується з $2/3$ запасу палива та піску (при електротязі – піску).

Стоянкові гальма рухомого складу: гальма рухомого складу з ручним або автоматичним приводом, розташовані на одиниці рухомого складу та призначені для її закріплення під час стоянки від мимовільного пересування, а також для примусової аварійної зупинки у разі наявності ручного і/або автоматичного приводу всередині одиниці рухомого складу.

Тепловоз: автономний локомотив, силовою установкою якого є двигун внутрішнього згоряння.

Тимчасові колії: колії, призначені для виконання вантажно-розвантажувальних операцій, будівельних робіт і забезпечення виробничої діяльності, з терміном експлуатації, як правило, не більше одного

року. До тимчасових колій відносяться пересувні колії кар'єрів і відвалів, колії для подачі вантажів на споруджуваний об'єкт, колії що будуються, використовувані до введення їх в постійну експлуатацію для доставки будівельних вантажів, руху будівельних машин, а також для тимчасової експлуатації у виробничих цілях.

Ухил: елемент поздовжнього профілю залізничної колії, що має нахил до горизонтальної лінії. Ухил для поїзда, що рухається від нижчої точки до вищої, називають підйомом, а назад – спуском.

Фрикційне гальмо рухомого складу: гальмо рухомого складу, в якому гальмування здійснюється притисненням спеціальних фрикційних елементів до обертових поверхонь ходових частин.

Хвіст поїзда: остання за напрямком руху одиниця рухомого складу (локомотив або вагон).

Холостий хід локомотива: рух або стоянка локомотива, коли його тяговий двигун не вимкнений, але не працює в режимі тяги (під час вибігу, гальмування, зупинки).

Швидкість конструкційна: швидкість руху, на яку розраховуються міцність конструкції та ходові якості одиниці рухомого складу.

Швидкість рівноважна: усталена рівномірна швидкість руху поїзда під дією рівних прискорювальних та уповільнювальних сил.

Шкідливий спуск: спуск, на якому для підтримки встановленої швидкості необхідно застосовувати гальма.

Вступ

Тягові розрахунки є важливою частиною науки про тягу поїздів, одним з основних заходів, що проводяться для організації залізничних робіт і проектування залізничних ліній. Методики тягових розрахунків включають в себе комплекс методів і прийомів з визначення маси поїзда, швидкості та часу руху по ділянці, витрати енергоресурсів на тягу, а також у вирішенні проблем гальмування. Економічний ефект залізничного транспорту, ефективність використання локомотивного та вагонного парку безпосередньо залежать від точності тягових розрахунків [1].

Тривалий час за необхідності визначення витрат часу та паливно-енергетичних ресурсів на маневрову операцію тягові розрахунки виконувались за Правилами тягових розрахунків для поїзної роботи [1], що не можна визнати досить обґрунтованим.

Як відомо, маневрова робота переважно виконується тепловозами з електричною передачею, режимами роботи яких значно відрізняються від режимів роботи поїзних тепловозів. Якщо у поїзного тепловоза час розгону поїзда та зупинки його на станції незначно порівняно з часом його руху по перегонах, то в маневровій роботі від 50 до 90 % часу руху складає зрушення состава з місця, вибіг та гальмування. Розрахунок цих елементів руху за Правилами тягових розрахунків для поїзної роботи пов'язаний з великими похибками, оскільки поїзд у них розглядається як матеріальна точка, а сили тяги та опір руху в процесі зрушення приймаються постійними. Для того щоб усунути ці похибки, необхідно враховувати зміну ваги состава, а також сил тяги та опору руху в процесі торкання состава з місця, розгону, гальмування, розпуску з сортувальної гірки.

Наведені у посібнику методики визначають порядок тягових розрахунків, встановлюють основні нормативи, прийняті для розрахунку, а також є основою розрахунку витрати дизельного палива на виконання маневрової операції.

Положення, наведені у посібнику, застосовують під час тягових розрахунків для маневрової роботи на станціях та під'їзних коліях експлуатованих та проектованих залізниць з шириною колії 1520 мм.

Методики передбачають розрахунки маневрової роботи, що виконується основними серіями маневрових локомотивів, яким на залізницях є маневрові тепловози з електричною передачею [2]. Також допускається виконання тягових розрахунків у випадках застосування для маневрової роботи інших локомотивів не маневрових серій. При цьому тягові, гальмівні та інші необхідні характеристики цих локомотивів мають бути прийняті за Правилами тягових розрахунків для поїзної роботи або за іншими джерел.

Методика використовується в основному для виконання тягових розрахунків на електронних обчислювальних машинах (ЕОМ).

Метою освоєння навчальної дисципліни «Теорія локомотивної тяги» є формування компетенцій відповідно до стандарту вищої освіти України за спеціальністю 273 «Залізничний транспорт» та придбання таких компетентностей:

- дотримуватися у професійній діяльності вимог нормативно-правових, законодавчих актів України, Правил технічної експлуатації залізниць України, інструкцій та рекомендацій з експлуатації, ремонту та обслуговування об'єктів залізничного транспорту та їх систем;

- аналізувати техніко-економічні та експлуатаційні показники локомотивів, їх систем, агрегатів та вузлів з метою виявлення та усунення негативних чинників та підвищення ефективності виробничого процесу.

За робочою програмою освітньої компоненти посібник сприяє досягненню таких результатів навчання:

- дотримуватися у професійній діяльності вимог нормативно-правових та законодавчих актів України у сфері залізничного транспорту, Правил технічної експлуатації залізниць України, інструкцій та рекомендацій з експлуатації, ремонту та обслуговування локомотивів, їх систем, агрегатів та вузлів;

- виконувати розрахунок основних характеристик та параметрів технологічних процесів виробництва, експлуатації та ремонту локомотивів, їх систем, агрегатів та вузлів з метою їх порівняння та формування управлінських рішень щодо подальшого функціонування підприємства з оцінкою якості його продукції.

Основні положення для розрахунків

1.1. Точність розрахунків

Під час виконання тягових розрахунків для маневрових операцій рекомендується приймати таку точність результатів обчислень [1]:

- відстань – для елементів профілю та плану колії в метрах, для елементів відрізка (інтервалу) шляху, на якому виконують розрахунок параметрів руху, витрати палива, нагрівання обмоток електричних машин у маневровій операції – у метрах із двома знаками після коми;
- ухили – у проміле (‰) з одним знаком після коми;
- силу тяги, сили опору та гальмівні сили – у кілоньютонах (кН) з одним знаком після коми;
- питомі сили – у ньютонах на кілоньютон з одним знаком після коми;
- струм – в амперах із заокругленням до 5 А;
- швидкість руху рухомого складу в км/год з одним знаком після коми;
- швидкість – у метрах за секунду з двома знаками після коми;
- масу локомотива, окремих вагонів та поїздів – у тонах;
- загальна витрата палива за окремими елементами розрахунку – у кілограмах із трьома знаками після коми з округленням кінцевого результату витрати на маневрову операцію – у кілограмах з одним знаком після коми;
- витрата палива за одиницю часу в режимі тяги та на холостому ході – у кілограмах за хвилину з одним знаком після коми;
- питома витрата палива – у грамах на кіловат потужності за годину з одним знаком після коми (у процесі розрахунку витрати палива за окремими елементами – у грамах на кіловат-годину за секунду з п'ятьма знаками після коми);
- час виконання маневрової операції – у хвилинах за окремими еле-

ментами розрахунку з трьома знаками після коми та округленням кінцевого результату до 0,005 хв;

– час простою складу перед початком руху в маневровій операції – у годиннику з одним знаком після коми або в хвилинах;

– температуру – в градусах Цельсія: для навколишнього середовища (зовнішнього повітря) із заокругленням до 0,01 °С, під час перевірки нагрівання тягових електричних машин за окремими елементами розрахунку до 0,01 °С із заокругленням кінцевих результатів до 1 °С.

1.2. Опір руху рухомого складу

1.2.1. Основний питомий опір руху маневрових тепловозів

Основний питомий опір руху, Н/кН, маневрових тепловозів визначається за формулами:

– шестивісні з щелепними візками на роликових підшипниках

$$\omega'_0 = 1,5 + 0,014v + 0,00024v^2, \quad (1.1)$$

$$\omega_x = 1,6 + 0,044v + 0,00034v^2; \quad (1.2)$$

– шестивісні з безщелепними візками на роликових підшипниках

$$\omega'_0 = 0,9 + 0,002v + 0,00046v^2, \quad (1.3)$$

$$\omega_x = 3,0 + 0,011v + 0,00046v^2; \quad (1.4)$$

– восьмивісні з безщелепними візками на роликових підшипниках

$$\omega'_0 = 3,6 - 0,078v + 0,00013v^2, \quad (1.5)$$

$$\omega_x = 4,0 + 0,038v + 0,0015v^2. \quad (1.6)$$

1.2.2. Основний питомий опір руху поїзних (магістральних) локомотивів

У разі застосування для маневрової роботи поїзних локомотивів основний питомий опір руху визначати за формулами:

– на ланковій колії

$$\omega'_0 = 1,9 + 0,01v + 0,0003v^2, \quad (1.7)$$

$$\omega_x = 2,4 + 0,011v + 0,00035v^2. \quad (1.8)$$

– на безстиковій колії

$$\omega'_0 = 1,9 + 0,008v + 0,00025v^2, \quad (1.9)$$

$$\omega_x = 2,4 + 0,009v + 0,00035v^2. \quad (1.10)$$

де ω'_0 – основний питомий опір руху локомотива у режимі тяги, Н/кН;

ω_x – основний питомий опір руху локомотива на холостому ході (без струму) у режимах вибігу та гальмування.

1.2.3. Основний питомий опір руху вагонів на роликових підшипниках

Основний питомий опір вагонів на роликових підшипниках у розрахунках зрушення з місця та розгону состава при маневровій роботі визначається за різними формулами у трьох діапазонах швидкості руху: від 0 до v_1 від v_1 до v_2 і від v_2 до максимальної (заданої або допустимої).

Швидкість v_1 приймається рівній швидкості локомотива $v_{зр}$ в кінці шляху зрушення $S_{зр}$ (швидкість $v_{зр}$ визначається у процесі тягового розрахунку зрушення состава).

Шлях зрушення $S_{зр}$ розтягнутого состава з локомотивом у голові та стисненого з локомотивом у хвості, коли всі вагони состава приходять у рух одночасно, приймається рівним 5 м.

Шлях зрушення $S_{зр}$ стисненого состава з локомотивом у голові та

розтягнутого з локомотивом у хвості, коли вагони приходять у рух по черзі, визначається за формулою:

$$S_{\text{зр}} = n_{\text{в}} \delta_{\text{з}} + 5, \quad (1.11)$$

де $n_{\text{в}}$ – кількість вагонів у составі;

$\delta_{\text{з}}$ – зазор в автозчепленнях. За відсутності заданого зазору приймається рівним $\delta_{\text{з}} = 0,12$ м.

Інтервал шляху ΔS у тяговому розрахунку на шляху зрушення приймати рівним зазору в автозчепленнях ($\Delta S = \delta_{\text{з}}$). Швидкість v_2 в км/год визначається за формулою:

$$v_2 = 12,6 + 0,13M_{\text{в}} - 0,1q_0 - 0,033M_{\text{в}}q_0 - 0,095M_{\text{в}}^2 + 0,0000059q_0^2, \quad (1.12)$$

де $M_{\text{в}}$ – маса состава, тис т;

q_0 – маса на вісь, т/вісь.

Основний питомий опір руху вагонів на роликових підшипниках на шляху зрушення $S_{\text{зр}}$ від швидкості $v_0 = 0$ до швидкості $v_1 = v_{\text{зр}}$ визначається за формулою:

$$\omega_{\text{зр}}^{\text{п}} = \frac{28}{q_0 + 7}. \quad (1.13)$$

За швидкості руху $v \geq v_2$ в тягових розрахунках елементів розгону після зрушення з місця і на всьому діапазоні швидкостей від $v_{\text{п}} = 0$ до $v_{\text{к}} = v_{\text{max}}$ в тягових розрахунках елементів вибігу, гальмування, рівномірного руху після зрушення з місця за $S_j > S_{\text{зр}}$ основний питомий опір руху вагонів на роликових підшипниках на ланковій колії розраховується за формулами:

а) шестивісні навантажені вагони ($q_0 > 6$ т/вісь)

$$\omega_0'' = 0,7 + \frac{8 + 0,1v + 0,0025v^2}{q_0}; \quad (1.14)$$

б) чотиривісні завантажені вагони та вагони рефрижераторні поїздів ($q_0 \leq 6$ т/вісь)

$$\omega_0'' = 0,7 + \frac{3 + 0,1v + 0,0025v^2}{q_0}; \quad (1.15)$$

в) чотиривісні та шестивісні порожні вагони

$$\omega_0'' = 0,7 + 0,044v + 0,00024v^2; \quad (1.16)$$

г) восьмивісні вагони

$$\omega_0'' = 0,7 + \frac{6 + 0,038v + 0,0021v^2}{q_0}; \quad (1.17)$$

д) пасажирські вагони

$$\omega_0'' = 0,7 + \frac{8 + 0,18v + 0,003v^2}{q_0}. \quad (1.18)$$

На безстиківій колії та відповідних діапазонах швидкостей та елементах руху основний питомий опір руху вагонів на роликівих підшипниках розраховується за формулами:

а) шестивісні завантажені вагони ($q_0 > 6$ т/вісь)

$$\omega_0'' = 0,7 + \frac{8 + 0,08v + 0,0022v^2}{q_0}; \quad (1.19)$$

б) чотиривісні завантажені вагони та вагони рефрижераторних поїздів ($q_0 > 6$ т/вісь)

$$\omega_0'' = 0,7 + \frac{3 + 0,09v + 0,002v^2}{q_0}; \quad (1.20)$$

в) чотиривісні та шестивісні порожні вагони ($q_0 \leq 6$ т/вісь)

$$\omega_0'' = 1,0 + 0,042v + 0,00016v^2; \quad (1.21)$$

г) восьмивісні вагони

$$\omega_0'' = 0,7 + \frac{6 + 0,042v + 0,00016v^2}{q_0}; \quad (1.22)$$

д) пасажирські вагони

$$\omega_0'' = 0,7 + \frac{8 + 0,16v + 0,0023v^2}{q_0}. \quad (1.23)$$

У діапазоні швидкості від $v_1 = v_{зп}$ до v_2 при розгоні состава після проходження шляху зрушення основний питомий опір вагонів на роликових підшипниках (чотиривісних та рефрижераторних поїздів з різною масою на вісь вантажних шестивісних та пасажирських з масою на вісь $q_0 \leq 14$ т/вісь, восьмивісних з масою на вісь $q_0 \leq 20$ т/вісь) розраховується за формулою

$$\omega'' = A_0 - A_1v, \quad (1.24)$$

де

$$A_0 = \omega_{0,1}'' - v_1 = \frac{\omega_{0,2}'' - \omega_{0,1}''}{v_2 - v_1}, \quad (1.25)$$

$$A_1 = \frac{\omega_{0,2}'' - \omega_{0,1}''}{v_2 - v_1}, \quad (1.26)$$

де $v_1 = v_{зп}$ – швидкість локомотива в кінці шляху зрушення, км/год;

v_2 – швидкість, розрахована за (1.12), км/год;

$\omega_{0,1}''$ – основний питомий опір за формулою (1.13), Н/кН;

$\omega_{0,2}''$ – основний питомий опір, розрахований при швидкості за однією з формул (1.14–1.23), що відповідає заданим типам вагонів та колії, Н/кН.

Основний питомий опір вантажних шестивісних вагонів та вагонів рефрижераторних поїздів з $q_0 > 14$ т/вісь та восьмивісних з $q_0 > 20$ т/вісь при зрушенні з місця та розгоні на всьому діапазоні швидкостей

розраховується відразу за формулами (1.14), (1.17) або (1.19), (1.22) відповідно до типу вагона та колії, минаючи розрахунок за формулами (1.13) та (1.24).

У разі скочування з горба сортувальної гірки основний питомий опір чотиривісних вантажних вагонів на роликових підшипниках з невідомою масою: на вісь допускається визначати в усереднених (орієнтовних) розрахунках за формулою

$$\omega_0'' = 2,6 + 0,11v + 0,0027v^2. \quad (1.27)$$

1.2.4. Додатковий питомий опір руху від ухилу

Додатковий питомий опір від ухилу (підйому або спуску) для всіх видів рухомого складу визначається за формулою:

$$\omega_i'' = i'_c, \quad (1.28)$$

де i'_c – величина спрямованого ухилу (підйому або спуску) на ділянці колії, що знаходиться під составом з локомотивом (поїздом) у проміле, див. (1.99).

Результати розрахунку за формулою (1.28) округляються до одного знаку після коми.

1.2.5. Додатковий питомий опір руху від кривої

Додатковий питомий опір руху від кривої на залізницях, що експлуатуються, для всіх видів рухомого складу приймати за формулами:

а) за довжину поїзда меншу або рівну довжині кривої

$$\omega_r = \frac{700}{R}, \quad (1.29)$$

або

$$\omega_r = 12,2 \frac{\alpha^\circ}{L_R}; \quad (1.30)$$

б) за довжину поїзда l_{Π} більше за довжину кривої

$$\omega_r = \frac{700}{R} \cdot \frac{L_R}{l_{\Pi}}, \quad (1.31)$$

або

$$\omega_r = 12,2 \frac{\alpha^{\circ}}{l_{\Pi}}. \quad (1.32)$$

Додатковий питомий опір руху від кривої при розрахунках, що вимагають підвищеної точності, а також при проектуванні залізниць для всіх видів рухомого складу дозволяється приймати за формулами:

а) за довжину поїзда меншу або рівну довжині кривої

$$\omega_r = \frac{200}{R} + 1,5\tau_k, \quad (1.33)$$

або

$$\omega_r = 3,5 \frac{\alpha^{\circ}}{l_{\Pi}} + 1,5\tau_k; \quad (1.34)$$

б) за довжину поїзда l_{Π} більше за довжину кривої

$$\omega_r = \left(\frac{200}{R} + 1,5\tau_k \right) \frac{L_R}{l_{\Pi}}, \quad (1.35)$$

або

$$\omega_r = \left(3,5 \frac{\alpha^{\circ}}{l_{\Pi}} + 1,5\tau_k \right) \frac{L_R}{l_{\Pi}}, \quad (1.36)$$

де R – радіус кривої ділянки колії, м;

L_R – довжина кривої ділянки колії, м;

α° – центральний кут кривої ділянки колії, град;

τ_k – незгашене відцентрове прискорення у кривій, м/с.

Значення τ_k задається як норматив або визначається за формулою:

$$\tau_k = \frac{v^2}{13R} - \frac{h}{H}g, \quad (1.37)$$

де h – підвищення зовнішньої рейки в кривій, мм;

H – відстань між колами кочення коліс рухомого складу (для ширини колії 1520 мм $H = 1580$ мм);

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

Додатковий питомий опір руху від S -образних кривих визначається за формулою:

$$\omega_r = 4,629 - 1,019R_c - 0,135q_0, \quad (1.38)$$

де R_c – середній радіус S -образних кривих, м.

1.2.6. Додатковий питомий опір руху від стрілочних переводів

Додатковий питомий опір від стрілочних переводів визначається за формулами:

а) за довжину поїзда меншу або що дорівнює довжині колії, що проходить по стрілках (довжині стрілочної горловини)

$$\omega_{\text{стр}} = \frac{n_{\text{стр}} \cdot A_{\text{стр}}}{L_{\text{сг}}} + \frac{700 \cdot n'_{\text{стр}}}{R_{\text{стр}}}, \quad (1.39)$$

або

$$\omega_{\text{стр}} = \frac{n_{\text{стр}} \cdot A_{\text{стр}}}{L_{\text{сг}}} + \frac{12,2\alpha_{\text{стр}}^{\circ} \cdot n'_{\text{стр}}}{L_{R_{\text{стр}}}}; \quad (1.40)$$

б) за довжину поїзда більше довжини колії, що проходить за стрілками (довжини стрілочної горловини)

$$\omega_{\text{стр}} = \frac{n_{\text{стр}} \cdot A_{\text{стр}}}{l_{\text{п}}} + \frac{700 \cdot n'_{\text{стр}}}{R_{\text{стр}} \cdot l_{\text{п}}}, \quad (1.41)$$

або

$$\omega_{\text{стр}} = \frac{n_{\text{стр}} \cdot A_{\text{стр}}}{l_{\text{п}}} + \frac{12,2 \alpha_{\text{стр}}^{\circ} \cdot n'_{\text{стр}} \cdot L_{\text{ст}}}{L_{\text{Рстр}} \cdot l_{\text{п}}}, \quad (1.42)$$

- де $n_{\text{стр}}$ – кількість стрілок на заданому відрізку станційних колії ΔL_j або відрізку шляху ΔS_j , пройденого рухомим складом по стрілочній горловині, од.;
- $n'_{\text{стр}}$ – кількість стрілок на заданому відрізку станційної колії ΔL_j або відрізку шляху ΔS_j , пройденого рухомим складом за непрямым напрямком, тобто пройденого рухомим складом стріловою кривою з відхиленням на бічну колію, од.;
- $L_{\text{ст}}$ – довжина стрілочної горловини (довжина шляху, що проходить стрілками), м;
- $L_{\text{Рстр}}$ – довжина кривої стрілочного перевodu, м;
- $R_{\text{стр}}$ – радіус кривої стрілочного перевodu, м;
- $\alpha_{\text{стр}}^{\circ}$ – центральний кут кривої стрілочного перевodu, град;
- $A_{\text{стр}}$ – питома робота, виконана локомотивом з подолання додаткового опору руху рухомого складу від одного стрілочного перевodu, $(\text{м} \cdot \text{Н})/\text{кН}$.

Питомий опір та роботу при проходженні однієї стрілки приймається за даними, наведеними у табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Питомі опори руху та питома робота при проходженні однієї стрілки

Тип стрілки	Питомий опір $\omega_{\text{стр}}$, Н/кН	Питома робота $A_{\text{стр}}$, $(\text{м} \cdot \text{Н})/\text{кН}$
1/6	2,93	51
1/9 на відхилену колію	2,45	66
1/9 симетрична	1,46	40

За відсутності конкретних даних про кількість та тип стрілок стрілочної горловини в усереднених орієнтовних розрахунках допускається приймати наступні величини: довжину стрілочної горловини – 350...400 м, кількість стрілок – 6...8, у тому числі стрілок, що проходять з відхиленням на бічну колію – 3...4, радіус стрілочних переводів

$R_{\text{стр}} = 200 \text{ м}$, питома робота з проходження одного стрілочного пере-
воду $51 \text{ (м} \cdot \text{Н) / кН}$.

1.2.7. Додатковий питомий опір від приведеного ухилу

Додатковий питомий опір, Н/кН, від приведеного ухилу визнача-
ється за формулою:

$$\omega_{\text{д}} = \omega_i + \omega_r + \omega_{\text{стр}}. \quad (1.43)$$

1.2.8. Загальний питомий опір руху

Загальний питомий опір руху рухомого складу, Н/кН, визначається
за формулами:

а) під час зрушення состава з місця

$$\omega_{\text{кзр}} = \frac{\omega'_0 M_{\text{т}} + \omega''_{\text{зр}} M'_{\text{в}} + \omega_{\text{д}} (P + M'_{\text{в}})}{(P + M'_{\text{в}})g}; \quad (1.44)$$

б) у режимі тяги (після зрушення з місця)

$$\omega_{\text{к}} = \frac{\omega'_0 P + \omega''_0 M_{\text{в}} + \omega_{\text{д}} (P + M_{\text{в}})}{(P + M_{\text{в}})g}; \quad (1.45)$$

в) у режимі вибігу та гальмування

$$\omega_{\text{к}} = \frac{\omega_{\text{х}} P + \omega''_0 M_{\text{в}} + \omega_{\text{д}} (P + M_{\text{в}})}{(P + M_{\text{в}})g}, \quad (1.46)$$

де P – маса локомотива, т;

$M_{\text{в}}$ – маса состава, групи вагонів (вагонів без локомотива), т;

$M'_{\text{в}}$ – маса вагонів, що прийшли до руху у процесі зрушення сос-
тава з місця (змінюється від моменту зрушення першого ва-
гона до моменту зрушення останнього вагона состава), т.

1.3. Гальмівні розрахунки

1.3.1. Гальмівна сила

У разі виконання маневрової роботи гальмівна сила, що діє на рухомий склад, визначається за гальмівною силою локомотива.

Гальмівну силу вагонів, крім особливо обумовлених випадків, не враховувати. У випадках включення пневматичних гальм вагонів гальмівні розрахунки виконуються за Правилами тягових розрахунків для поїзної роботи.

1.3.2. Гальмівна сила пневматичних гальм локомотива

Гальмівна сила, кН, прямодіючих пневматичних гальм локомотива визначається з урахуванням поправочного коефіцієнта χ як суму добутоків дійсних сил натискання гальмівних колодок K , кН, на дійсні коефіцієнти тертя колодок φ_k або як суму розрахункових (приведених) сил натиснення гальмівних колодок K_p , кН, помножену на розрахунковий коефіцієнт тертя колодок $\varphi_{кр}$

$$B_r = \chi \sum K \varphi_k = \chi \varphi_{кр} \sum K_p, \quad (1.47)$$

де χ – коефіцієнт, що враховує частку гальмівної сили, що реалізується, в залежності від швидкості руху та маси поїзда, тобто враховуючий час наповнення гальмівних циліндрів локомотива стисненням повітрям та необхідну величину тиску цього повітря, регульовану машиністом залежно від швидкості руху та маси состава (локомотива та вагонів).

За швидкості руху від 0 до 40 км/год (11,1 м/с) для составів масою до 10000 т коефіцієнт χ розраховується за формулою:

$$\chi = 0,135 + 151 \cdot 10^{-6} (P + M_b) + 220 \cdot 10^{-4} v - 148 \cdot 10^{-8} \cdot (P + M_b) v - 54 \cdot 10^{-10} \cdot (P + M_b)^2 - 2,3 \cdot 10^{-4} v^2 \quad (1.48)$$

або

$$\chi = 0,08 + a_{\chi}(P + M_{\text{в}})^{b_{\chi}}, \quad (1.49)$$

де у наближених розрахунках

$$a_{\chi} = 171 \cdot 10^{-4} + 112 \cdot 10^{-5} v + 38,3 \cdot 10^{-7} v^2; \quad (1.50)$$

$$b_{\chi} = 702 \cdot 10^{-3} - 99,7 \cdot 10^{-4} v - 72,2 \cdot 10^{-6} v^2 - 19,8 \cdot 10^{-8} v^3; \quad (1.51)$$

– у точних розрахунках за швидкості руху до 15 км/год (4,16 м/с)

$$a_{\chi} = 226 \cdot 10^{-4} - 150 \cdot 10^{-5} v + 39 \cdot 10^{-6} v^2; \quad (1.52)$$

$$b_{\chi} = 601 \cdot 10^{-3} - 28,3 \cdot 10^{-5} v + 39,8 \cdot 10^{-6} v^2; \quad (1.53)$$

– при швидкості руху від 15 км/год до 40 км/год

$$a_{\chi} = 204 \cdot 10^{-6} + 81 \cdot 10^{-5} v + 5,17 \cdot 10^{-6} v^2; \quad (1.54)$$

$$b_{\chi} = 486 \cdot 10^{-3} + 33,9 \cdot 10^{-4} v + 8,48 \cdot 10^{-6} v^2. \quad (1.55)$$

За швидкості руху більше 40 км/год (11,1 м/с) та у всіх випадках, коли результат розрахунку за формулами (1.48) або (1.49) більший за одиницю, приймається $\chi = 1$.

1.3.3. Гальмівна сила електричних гальм

Гальмівна сила, кН, електричних гальм локомотива визначається за розрахунковими або емпіричними залежностями гальмівної сили від швидкості руху, представленими для кожного конкретного типу електричних гальм у вигляді графічної або аналітичної залежності виду

$$B_{\text{ер}} = A_0 + A_1 v + A_2 v^2 + A_3 v^3. \quad (1.56)$$

Для виконання гальмівних розрахунків на ЕОМ графічні залежності необхідно перетворити до аналітичного вигляду (1.56).

1.3.4. Обмеження гальмівної сили по зчепленню

Максимальна величина гальмівної сили, кН, пневматичних або електричних гальм, що приймається в гальмівних розрахунках, не повинна перевищувати величину гальмівної сили, обмежену по зчепленню. Гальмівна сила, обмежена умовами зчеплення коліс із рейками, розраховується за формулою:

$$B_{\text{го}} = \psi_{\text{т}} q_0 n_0 g, \quad (1.57)$$

де $\psi_{\text{т}}$ – коефіцієнт зчеплення коліс з рейками під час гальмування;
 q_0 – маса, що припадає на вісь колісної пари одиниці рухомого складу ($q_0 \geq 5$), т/вісь;
 n_0 – кількість гальмівних осей одиниці рухомого складу;
 g – нормальне прискорення вільного падіння.

Коефіцієнт зчеплення коліс із рейками під час гальмування визначається за формулою:

$$\psi_{\text{т}} = f(v) \cdot f(q_0), \quad (1.58)$$

де

$$f(v) = 0,984 - 15,8 \cdot 10^{-3} v + 28,3 \cdot 10^{-5} v^2 - 2,6 \cdot 10^{-6} v^3 + 1,15 \cdot 10^{-8} v^4 - 2 \cdot 10^{-11} v^5; \quad (1.59)$$

$$f(q_0) = 0,170 - 0,015(q_0 - 5); \quad |q_0 \geq 5|. \quad (1.60)$$

1.3.5. Коефіцієнт тертя

Під час розрахунку гальмівної сили з використанням дійсної сили натискання колодок дійсний коефіцієнт φ_k тертя колодки об колесо визначається за формулами:

– чавунні стандартні колодки за дійсну силу натискання більше 9,1 кН і менше 108,9 кН ($9,1 < K < 11,1$ т) та швидкості руху v_φ , менше умовної швидкості ($v < v_\varphi < 8,6$ км/год)

$$\varphi_k = \left(1,306 - 7,138 \cdot 10^{-3} K\right) \cdot \frac{v + 58}{24v + 182}; \quad (1.61)$$

– чавунні стандартні колодки в зоні дійсного натискання від 9,1 кН до 105,9 кН за швидкості руху більш умовної ($v < v_\varphi < 8,6$ км/год (2,38 м/с)), а також у всіх випадках, коли $K \leq 9,1$ і $K \geq 103,9$ кН незалежно від швидкості руху та коли $v \geq 8,6$ км/год (2,38 м/с) незалежно від сили дійсного натискання

$$\varphi_k = 0,5 + \frac{1,632K + 100}{8,158K + 100} \cdot \frac{v + 100}{5v + 100}; \quad (1.62)$$

– чавунні колодки із вмістом фосфору 1,0...1,4 %

$$\varphi_k = 0,5 + \frac{1,632K + 100}{5,303K + 100} \cdot \frac{v + 100}{5v + 100}; \quad (1.63)$$

– композиційні колодки

$$\varphi_k = 0,44 + \frac{0,102K + 20}{5,303K + 20} \cdot \frac{v + 150}{5v + 150}. \quad (1.64)$$

Умовну швидкість v_φ , за якій від розрахунку дійсного коефіцієнта тертя чавунної стандартної колодки за формулою (1.61) потрібно переходити до розрахунку за формулою (1.62), визначати за формулою:

– у точних розрахунках

$$v_{\varphi} = \frac{(22,7K^2 - 1349K + 1033986)}{-0,582K + 52,4K - 1574} \pm \frac{\pm \sqrt{122,4K^4 + 20523K^2 + 914290K^2 - 12 \cdot 10^7 K + 976 \cdot 10^7}}{-0,582K + 52,4K - 1574}; \quad (1.65)$$

– у наближених розрахунках

$$v_{\varphi} = -2,894 + 26,42 \cdot 10^{-2} K + 8,35 \cdot 10^{-3} K^2 - 30,02 \cdot 10^{-5} K^3 + 28,11 \cdot 10^{-7} K^4 - 8,64 \cdot 10^{-9} K^5. \quad (1.66)$$

де K – дійсна сила натиснення однієї колодки на колесо, кН.

Щоб не вводити у розрахунок залежності коефіцієнта тертя від сили натискання на колодку, слід користуватися розрахунковим коефіцієнтом тертя та розрахунковою силою натискання на колодку K_p .

При цьому формули для розрахункового коефіцієнта $\varphi_{кр}$ набувають вигляду:

– чавунні стандартні колодки за умови

$$9,1 \text{ кН} < K < 108,9 \text{ кН}; \quad v < v_{\varphi};$$

$$\varphi_{кр} = 1,117 \frac{v + 58}{24v + 182}; \quad (1.67)$$

– чавунні стандартні колодки за умови

$$9,1 \text{ кН} < K < 108,9 \text{ кН}; \quad v > v_{\varphi};$$

а також при

$$9,1 \text{ кН} > K > 108,9 \text{ кН};$$

незалежно від v та $v_{\varphi} > 8,6$ км/год незалежно від K та колодки з підвищеним вмістом фосфору

$$\varphi_{кр} = 0,27 \frac{v + 100}{5v + 100}; \quad (1.68)$$

– композиційні колодки

$$\varphi_{\text{кр}} = 0,36 \frac{v+150}{2v+150}. \quad (1.69)$$

Перехід від дійсної сили натискання до розрахункової виконується за такими формулами:

– чавунні стандартні колодки

$$K_p = 2,22K \frac{16K + 981}{80K + 981}; \quad (1.70)$$

– чавунні колодки з підвищеним вмістом фосфору

$$K_p = 1,85K \frac{16K + 981}{52K + 981}; \quad (1.71)$$

– композиційні колодки

$$K_p = 1,22K \frac{K + 196}{4K + 196}. \quad (1.72)$$

1.3.6. Сила натиснення

Дійсні та розрахункові сили натиснення стандартних чавунних колодок маневрових тепловозів у разі гальмування прямодіючими пневматичними гальмами (без включення пневматичних гальм вагонів) приймаються за даними, наведеними в табл. 1.2.

Сили натиснення гальмівних колодок інших локомотивів та вагонів при включенні їх автоматичних пневматичних гальм визначаються за «Правилами тягових розрахунків для поїзної роботи». При цьому розрахункові сили натиснення чавунних гальмівних колодок поїзда дозволяється визначати за даними, наведеними в табл. 1.3 та 1.4. Облікова маса та кількість гальмівних колодок осей тепловозів приймається за табл. 1.5.

Таблиця 1.2

Сила натиснення гальмівних колодок

Серія тепловоза	Кількість автогальмівних осей	Кількість гальмівних колодок	Сила натиснення, кН			
			однієї гальмівної колодки		всіх гальмівних колодок	
			K	K_p	$\sum K$	$\sum K_p$
ТЕМ2	6	2	54	42	654	504
ТЕМ7	8	4	25	26	790	816
ЧМЕЗ	6	4	36	32	868	776
2ТЕ116	12	4	35	32	1676	1517
2ТЕ10Л щелепний візок	12	2	53	41	1278	992
2ТЕ10 безщелепний візок	12	4	30	29	1431	1376

Таблиця 1.3

Розрахункові сили натиснення чавунних гальмівних колодок тепловозів

Серія локомотива	Розрахункова сила натиснення колодок на вісь K_p , кН (т)	
	завантажений режим	порожній режим
2ТЕ116, 2ТЕ10В(М), 3ТЕ10М	118 (12,0)	49 (5,0)
ЧМЕЗ	108 (11,0)	49 (5,0)
Інші серії тепловозів	98 (10,0)	49 (5,0)

Таблиця 1.4

Розрахункові сили натиснення чавунних гальмівних колодок пасажирських і вантажних вагонів

Тип вагону	Розрахункова сила натиску колодок на вісь K_p , кН (т)
1	2
Суцільнометалеві пасажирські вагони з масою тари	
– 53 т і більше	98 (10,0)
– 48 т і більше, але не менше 53 т	88 (9,0)
– 42 т і більше, але не менше 48 т	78 (8,0)

Продовження табл. 1.4

1	2
Суцільнометалеві пасажирські вагони габариту ОЗ-Т (РИЦ) з гальмом КЕс на режимі:	
– пасажирському	98 (10,0)
– швидкісному	147 (15)
Інші вагони пасажирського парку	64 (6,5)
Вантажні вагони на порожньому режимі гальмування	34 (3,5)
Вантажні вагони, обладнані чавунними колодками на режимі:	
– завантаженому	69 (7)
– середньому	49 (5)
Вантажні вагони, обладнані композиційними колодками (у перерахунку на чавунні колодки) на режимі:	
– завантаженому	83 (8,5)
– середньому	69 (7)
– порожньому	34 (3,5)
Чотирьохвісні ізотермічні та багажні СМВ з одностороннім гальмуванням	59 (6)
Вагони рефрижераторного рухомого складу на режимі:	
– завантаженому	88 (9)
– середньому	59 (6)
Хопери-дозатори ЦНДІ-2 та ЦНДІ-3 на режимі:	
– завантаженому	34 (3,5)
– порожньому	12 (1,25)
Хопери-дозатори ЦНДІ-ДВЗ та хопери-цементовози на режимі:	
– завантаженому	59 (6)
– порожньому	24 (2,5)
Думпкери ЗВС50, 4ВС50, 5ВС60 на режимі:	
– завантаженому	59 (6)
– середньому	44 (4,5)
– порожньому	29 (3)

Закінчення табл. 1.4

1	2
Думпкари ВС50, ВС95 на режимі:	
– завантаженому	69 (7)
– середньому	44 (4,5)
– порожнім	34 (3,5)

Примітка: 1. Для вагонів, обладнаних вантажним авторежимом, сила натиснення гальмівних колодок приймається відповідно до навантаження на вісь при порожньому, середньому та завантаженому режимах.

2. Для рефрижераторних вагонів, що задовольняють спеціальним технічним умовам для швидкості руху до 120 км/год, силу натиснення на вісь композиційних гальмівних колодок у перерахунку на чавунні приймається: на середньому режимі 118 кН (12 т), на порожньому режимі 83 кН (8,5 т).

Таблиця 1.5

Облікова маса тепловозів і число гальмівних осей

Серія локомотива	Кількість автогальмівних осей	Кількість осей ручних гальм	Облікова маса локомотива, т	
			максимальна	в порожньому стані
ТЕМ2	6	2	121	115
ТЕМ2У	6	2	123,6	117,6
ТЕМ7 (з баластом 12т)	8	2	180	174,5
ТЕМ7 (без баласту)	8	2	168	162,5
ЧМЕЗ	6	2	123	117,9
ЧМЕЗТ	6	2	123	117,9
ЧМЕЗМ	6	2	126	120,9
2ТЕ10Л	12	4	258	254
2ТЕ10В(М)	12	4	276	264
3ТЕ10М	18	6	414	395
2ТЕ116	12	4	274	270
ТЕП10, ТЕ10	6	4	129	125

1.3.7. Гальмівний коефіцієнт

Розрахунковий гальмівний коефіцієнт під час маневрових пересувань без включення пневматичних гальм вагонів визначається по відношенню до суми розрахункових сил натиснення гальмівних колодок

на колеса локомотива до загальної маси локомотива та причеплених до нього вагонів

$$v_p = \frac{\Sigma K_p}{g(P + M_b)}, \quad (1.73)$$

де ΣK_p – сума розрахункових сил натиснення гальмівних колодок на колеса локомотива, кН;

P – маса локомотива, т;

M_b – маса вагонів причеплених до локомотива, т;

g – нормальне прискорення вільного падіння.

При включенні пневматичних гальм вагонів гальмівний коефіцієнт розраховується за Правилами тягових розрахунків для поїзної роботи, тобто з урахуванням усіх сил натискання гальмівних колодок на колеса локомотива та вагонів.

1.3.8. Питома гальмівна сила

Питома гальмівна сила пневматичних та електричних гальм розраховується за формулою:

$$b_r = \frac{1000 B_r}{(P + M_b)g}, \quad (1.74)$$

де B_r – гальмівна сила локомотива, розрахована за формулою (1.47) або (1.56), кН.

Питому гальмівну силу пневматичних гальм у деяких випадках зручно розраховувати за формулою:

$$b_r = 1000 \chi \varphi_{кр} v. \quad (1.75)$$

1.3.9. Гальмівний шлях

Гальмівним шляхом називається відстань, що проходить локомотивом, локомотивом із причепленими вагонами (поїздом) від початку гальмування до зупинки.

Гальмівний шлях S_r складається з суми підготовчого гальмівного шляху S_{π} та дійсного шляху гальмування S_d

$$S_r = S_{\pi} + S_d. \quad (1.76)$$

Підготовчий гальмівний шлях при гальмуванні прямодіючим пневматичними або електричними гальмами локомотива визначається за формулою:

$$S_{\pi} = v_{\pi} T_{\pi}, \quad (1.77)$$

де v_{π} – швидкість руху локомотива на момент початку гальмування, км/год;

T_{π} – час приведення до дії гальм локомотива, с. Для прямодіючого пневматичного $T_{\pi} = 3$ с, електричного $T_{\pi} = 1$ с.

При включенні пневматичних гальм вагонів час підготовки гальм до дії визначається за Правилами тягових розрахунків для поїзної роботи.

Дійсний шлях гальмування розраховується за загальними формулами розрахунку шляху (3.9), (3.11) або (3.13) за умови відсутності сили тяги ($f_d = 0$) та наявності гальмівної сили ($b_r \neq 0$) та сил опору руху ($\omega_k \neq 0$, тобто $\omega_x \neq 0$, $\omega_0'' \neq 0$, $\omega_d \neq 0$; на прямій горизонтальній ділянці колії без стрілочних переводів $\omega_d = 0$).

1.4. Сила тяги

1.4.1. Тягові характеристики

Тягові характеристики основних серій маневрових локомотивів наведені у додатку А.

Допускається визначати силу тяги за усередненими (розрахунковими) зовнішніми та частковими характеристиками, у яких згладжені зміни сили тяги при перемиканні схеми з'єднання та при включенні (відключенні) ступенів ослаблення поля збудження тягових електродвигунів.

При ступінчастому регулюванні сили тяги за частковими характеристиками (позиціями контролера машиніста) необхідно визначати часткові тягові характеристики (позиції), які можуть бути реалізовані по зчепленню при зрушення з місця, та швидкості руху, за яких можливий перехід з однієї часткової тягової характеристики на наступну вищу характеристику.

Конструкційну та розрахункову швидкість руху, розрахункову силу тяги та інші основні параметри тепловозів маневрових та вантажних, які можуть бути використані в окремих видах маневрової та вивізної роботи, наведено в табл. 1.6.

1.4.2. Врахування зміни сили тяги в залежності від атмосферних умов

Розрахункові значення сили тяги за атмосферних умов, що відрізняються від стандартних (стандартні умови $t_0 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $H_{\text{бар}} = 1013\text{ гПа} = 760\text{ мм рт. ст.}$), визначаються за формулою:

$$F_{\text{до}} = F_{\text{д}} (1 - K_t - K_{\text{ра}}), \quad (1.78)$$

де $F_{\text{д}}$ – сила тяги за стандартних умов (див. додаток А), кН;

K_t – коефіцієнт, що враховує зниження потужності дизеля від зміни температури зовнішнього повітря;

$K_{\text{ра}}$ – коефіцієнт, що враховує зниження потужності дизеля від зміни атмосферного тиску.

Значення коефіцієнтів K_t і $K_{\text{ра}}$ наведено в табл. 1.7 та 1.8.

Розрахункові атмосферні умови для літнього та зимового періодів встановлює для кожної станції (дільниці) управління залізниці на основі метеорологічних даних.

Таблиця 1.6

Основні параметри тепловозів

Серія	Конструкційна швидкість v_k , м/год	Зчіпна вага $P_{зч}$, кН	Розрахункова маса P , т	Тип тягового електродвигуна	Передавальне відношення i	Коефіцієнт ослаблення збудження	Тривалі або розрахункові параметри			
							швидкість v_p , км/год	сила тяги $F_{тр}$, кН	генератора струм I , А	двигуна
TEM2	100	1177	120	ЕД118А, ЕД107	4,41 4,53	48; 25	11	206	1210	605
TEM2У	100	1212	123	ЕД118А	4,53	48; 25	11	206	1210	605
TEM7	100	1765	180	ЕД120А	4,41		10,3	343	6800 ^{**})	800
TEM7 ^{*)}	100	1648	168	ЕД120А	4,41		11,6	314	6800 ^{**})	800
ЧМЕ3	95	1206	123	ТЕ-006	5.07	(35-45); 20	11,4	226	2250	750
ЧМЕ3М	100	1236	126	ТЕ-010В1	5.07	(35-45); 20	13	237	2250	750
2ТЕ10В, 2ТЕ10М	100	2707	276	ЕД118А	4,41	(57-63); (35-39)	23,4	496	4320	720
3ТЕ10М	100	4060	414	ЕД118А	4,41	(57-63); (35-39)	23,4	744	4320	720
2ТЕ116	100	2707	276	ЕД118А	4,41	(57-63); (35-39)	24,2	496	5700 ^{**})	720

Примітка: *) – маса без 12 т баласта; **) – струм по випрямляючій установці.

1.4.3. Сила тяги при зрушенні з місця

Сила тяги при зрушенні з місця визначається за тією максимальною частковою тяговою характеристикою, що може бути реалізована по зчепленню коліс з рейками за нульовій швидкості руху ($v=0$), тобто за тією тяговою характеристикою, яка перетинає вісь ординат нижче точки перетину осі ординат характеристикою обмеження сили тяги по зчепленню та одночасно знаходиться над рештою часткових тягових характеристик, що перетинають вісь ординат за нульовій швидкості (див. додаток А).

Таблиця 1.7

Значення коефіцієнта K_t в залежності від температури зовнішнього повітря

Тип дизеля	Серія тепловоза	K_t за $t_0, ^\circ\text{C}$		
		≤ 20	30	40
ПД1М	ТЕМ2	0	0,03	0,06
10Д100	2ТЕ10В/і	0	0,05	0,10
1А-5Д49	2ТЕ116	0	0,04	0,08

Таблиця 1.8

Коефіцієнт K_{pa} в залежності від атмосферного тиску

Тип дизеля	Серія тепловоза	K_{pa} за $H_{бар}$, гПа (мм. рт. ст.)				
		904 (680)	933 (700)	960 (720)	987 (740)	1013 (760)
ПД1М	ТЕМ2	0,061	0,046	0,03	0,015	0
10Д100	2ТЕ10В/і	0,115	0,086	0,057	0,028	0
1А-5Д49	2ТЕ116	0,088	0,066	0,044	0,022	0

В орієнтовних розрахунках та в розрахунках вивізної та передавальної роботи, наближених до умов поїзної роботи, коли час зрушення з місця незначний порівняно із загальним часом руху до зупинки, допускається розраховувати силу тяги при зрушенні з місця за Правилами тягових розрахунків для поїзної роботи та приймати цю силу тяги за табл. 1.9.

Сила тяги тепловоза при зрушенні з місця

Серія	Обмеження	Сила тяги на перегоні, кН	Серія	Обмеження	Сила тяги на перегоні, кН
ТЕМ2	по зчепленню	347	ЧМЕЗ	по пусковому струму	171
ТЕМ2У	по зчепленню	358	ЧМЕЗТ	по зчепленню	356
ТЕМ7	по зчепленню	530	ЧМЕЗМ	по зчепленню	390
ТЕМ7*)	по зчепленню	494	2ТЕ10В	по зчепленню	797
2ТЕ116	по зчепленню	797	2ТЕ10М	по зчепленню	797

Примітка: *) – маса без 12 т баласта

Силу тяги, кН, по зчепленню при зрушенні з місця составів маневровими локомотивами при безступінчастому (плавному) її регулюванні визначають за формулою:

$$F_{\text{дзч}} = \psi_{\text{к}} P_{\text{зч}} = \psi_{\text{к}} g P, \quad (1.79)$$

де P – розрахункова маса з локомотива з 2/3 запасу палива та піску (див. табл. 1.6);

$P_{\text{зч}}$ – розрахункова зчіпна вага локомотива;

$\psi_{\text{к}}$ – коефіцієнт зчеплення коліс локомотива з рейками за швидкості руху 0 км/год. Визначається за формулою (1.80) при зрушенні станційними коліями і за формулою (1.81) при зрушенні на перегоні.

1.4.4. Швидкості переходу за частковими тяговими характеристиками

Швидкість переходу з однієї часткової тягової характеристики на наступну вищу визначається за точкою перетину цієї більш часткової тягової характеристики з характеристикою обмеження сили тяги по зчепленню.

Швидкість за якій припиняється обмеження сили тяги по зчепленню і починається обмеження сили тяги за потужності, визначається

по точці перетину зовнішньої тягової характеристики з характеристикою обмеження сили тяги по зчепленню.

1.4.5. Коефіцієнт зчеплення

Розрахунковий коефіцієнт зчеплення коліс локомотива з рейками на станційних та під'їзних коліях визначається за формулою:

$$\psi_k = 0,022 + \frac{1}{4,17 + 0,26v}, \quad (1.80)$$

де v – швидкість руху локомотива, км/год.

У тягових розрахунках насуву складу на сортувальну гірку, де маневровий локомотив рушить по прямій ділянці шляху, що не має стрілок, і допускається застосування піску, дозволяється збільшувати розрахунковий коефіцієнт зчеплення на 15 % від значення за формулою (1.80).

Під час виконання маневровими тепловозами поїзної (передавальної) роботи на перегонах та передавальних коліях (гілках) коефіцієнт зчеплення визначається згідно з Правилами тягових розрахунків для поїзної роботи за формулою:

$$\psi_k = 0,118 + \frac{1}{5,5 + 0,2v}. \quad (1.81)$$

У зимовий період за особливо незадовільних умов зчеплення (бурані, ожеледиця та ін.) залежно від особливостей станції, маневрового району, під'їзної колії розрахунковий коефіцієнт зчеплення дозволяється зменшувати відповідно до даних дослідних поїздок, але не більше 15 % від значень за формулами (1.80), (1.81). Період часу, протягом якого діють зменшені норми розрахункового коефіцієнта зчеплення, та міра зменшення коефіцієнта зчеплення встановлюються начальником залізниці.

За наявності на розрахунковому та найважчих підйомах кривих малого радіусу ($R < 800$ м) розрахунковий коефіцієнт зчеплення маневрових тепловозів, що виконують поїзну (передавальну) роботу, визначається за формулами:

$$\psi_{\text{к.кр}} = \psi_{\text{к}} K_{\text{кр}}; \quad (1.82)$$

$$K_{\text{кр}} = \frac{3,5R}{400 + 3R}. \quad (1.83)$$

1.4.6. Питома сила тяги

Питома сила тяги визначається за формулою:

$$f_{\text{д}} = \frac{1000F_{\text{д}}}{(P + M_{\text{в}})}, \quad (1.84)$$

де $M_{\text{в}}$ — маса вагонів, що рухаються під дією сили тяги, без урахування маси вагонів, що ще не прийшли в рух при зрушенні состава з місця ($M_{\text{в}} = M'_{\text{в}}$) або вагонів, що вже відчепилися при розпуску состава з гірки і при маневрах поштовхами ($M_{\text{в}} = M_{\text{в}i}$), т.

1.5. Результируюча сила

1.5.1. Результируюча сила

Результируюча сила, що діє на рухомий склад, що рухається (поїзд), розраховується за формулами:

— у режимі тяги

$$R = F_{\text{д}} - W, \quad (1.85)$$

де

$$W = W'_0 + W''_0 + W_{\text{д}} = \omega'_0 P + \omega''_0 M_{\text{в}} + \omega_{\text{д}} (P + M_{\text{в}}); \quad (1.86)$$

а під час зрушення рухомого складу з місця

$$W_{\text{дзр}} = W'_0 + W''_{\text{зр}} + W_{\text{д}} = \omega'_0 P + \omega''_{\text{зр}} M_{\text{в}} + \omega_{\text{д}} (P + M_{\text{в}}); \quad (1.87)$$

— в режимі вибігу

$$R = -W; \quad (1.88)$$

– в режимі гальмування

$$R = -(B_{\tau} + W), \quad (1.89)$$

де в режимах вибігу і гальмування

$$W = W'_x + W''_0 + W_d = \omega'_0 P + \omega''_0 M_{\text{в}} + \omega_d (P + M_{\text{в}}). \quad (1.90)$$

1.5.2. Сила опору руху під час зрушення з місця

Сила опору руху $W''_{\text{зр}}$ під час зрушення з місця рухомого складу визначається за формулою:

$$W''_{\text{зр}} = 10^{-3} \sum_{j=1}^{n'_b} m_{\text{в}j} \omega''_{\text{зр}j}, \quad (1.91)$$

а під час руху після зрушення з місця в режимах тяги, вибігу і гальмування за формулою:

$$W''_0 = 10^{-3} \sum_{j=1}^{n_b} m_{\text{в}j} \omega''_{0j}, \quad (1.92)$$

де n'_b – кількість вагонів, які почали рухатись під час зрушення состава з місця, од;

n_b – кількість вагонів у составі, од;

$m_{\text{в}j}$ – вага j -го вагона, кН;

$\omega''_{\text{зр}j}$ – питомий опір зрушення j -го вагона, визначається за формулами, наведеними у п.п.1.2, Н/кН;

ω''_{0j} – питомий опір руху j -го вагона, визначається за формулами, наведеними у п.п.1.2, Н/кН;

Маса окремого вагона, якщо вона не дана в вихідних даних, визначається за формулою:

$$m_{\text{в}} = n_0 q_0, \quad (1.93)$$

де n_0 – кількість осей вагона, од;
 q_0 – маса на вісь вагона, т/вісь.

В випадку коли кількість осей n_0 одного вагона і маса на вісь q_0 задані однаковими для всього рухомого складу, формули (1.91) і (1.92) приймають більш зручний для алгоритму розрахунку вид

$$W_{\text{зр}}'' = 10^{-3} (n'_B m_B \omega_{\text{зр}}'') = 10^{-3} M'_B \omega_{\text{зр}}''; \quad (1.94)$$

$$W_0'' = 10^{-3} M_B \omega_0'', \quad (1.95)$$

де M'_B – маса вагонів які почали рухатись, т.

1.5.3. Питома результуюча сила

Питому результуючу силу розраховують за формулою:

$$r = \frac{1000R}{P + M_B}, \quad (1.96)$$

де M_B – маса вагонів, які рухаються під дією результуючої сили, без урахування маси вагонів, на котрі результуюча сила ще не почала або вже перестала діяти в процесі маневрової операції, т.

1.6. Розрахунок маси, швидкості, часу та довжини шляху в маневровому переміщенні

1.6.1. Загальні вказівки

Швидкість, час маневрового переміщення та допустиму масу вагонів які пересуваються з урахуванням встановлених швидкостей і прискорень (уповільнень) визначають по найбільшим (більш високим) тяговим і гальмівним характеристикам, виходячи із можливості їх реалізації за умови зчеплення коліс локомотива з колією, а після виходу на зовнішню характеристику – за умови обмеження дотичної потужності

локомотива по тязі або по гальмуванню.

Встановлену швидкість руху під час виконання маневрової роботи приймають по діючій Інструкції з руху поїздів і маневровій роботі на залізниці, а також по технічним розпорядчим актам станцій і під'їзних колій і відомості допустимих швидкостей по стану колії на станціях.

Максимальне прискорення під час розгону та уповільнення при гальмуванні за умови роботи локомотивної бригади, безпеки рухомого складу і вантажу приймають $a \leq 0,6 \text{ м/с}^2 \left(7776 \text{ км/год}^2 \right)$.

Мінімальне прискорення наприкінці зрушення рухомого складу з місця за умови обмеженого часу та довжини шляху маневрової операції рекомендується приймати:

- у разі насування состава на горб сортувальної гірки $0,01 \text{ м/с}^2$ ($126,6 \text{ км/год}^2$);

- у разі переставних маневрів на станційній колії $0,04 \text{ м/с}^2$ ($518,4 \text{ км/год}^2$);

- у разі маневрів (розформування составу) $0,18 \text{ м/с}^2$ ($2332,8 \text{ км/год}^2$);

- у разі виконання передаточних операцій і маневрів на під'їзній $0,03 \text{ м/с}^2$ ($388,8 \text{ км/год}^2$).

За відсутності обмежень часу та довжини маневрової операції мінімальне прискорення наприкінці зрушення состава визначається за умови виконання заданої операції без зупинки: состав не зупиниться, операція виконана – прискорення достатньо; склад зупинився – операція не може бути виконана прискорення недостатньо.

В тих випадках, коли за умови зчеплення в режимі тяги (гальмування) прискорення (уповільнення) більш максимально допустимого, необхідно перейти на наступну більш низьку тягову (гальмівну) характеристику.

Під час знаходження швидкості руху та часу зрушення состава з місця, розтягування або стискання при почерговому зрушенні вагонів приймати матеріальну точку, в якій зосереджена вся маса, окремий локомотив або вагон, а в процесі розпуску вагонів з сортувальної гірки – окремий вагон або групу зчеплених вагонів разом.

Під час знаходження швидкості та часу руху після почергового зрушення з місця при прискоренні, вибігу та гальмуванні состава, а також при одночасному зрушенні з місця всіх вагонів состава, за матеріальну точку, в якій зосереджена вся маса, приймати весь состав, зчеп або групу вагонів які рухаються разом.

Якщо сила тяги недостатня для зрушення з місця одночасно всіх вагонів, виконати розрахунок з попереднім розтягуванням (стисненням) состава таким чином, щоб в розрахунку враховувалося почергове зрушення вагонів з місця.

В тих випадках, коли при почерговому зрушенні вагонів локомотив не здатен забезпечити зрушення состава з місця по одній з вказаних нижче причин (зупиняється, не закінчив зрушення, прискорення в кінці процесу зрушення – менше мінімально допустимого) або коли при підході до горбу сортувальної гірки першого вагона швидкість руху менша за задану, необхідно прийняти одне з наступних рішень – зменшити масу состава, використати біль потужний локомотив або подвійну тягу.

1.6.2. Визначення допустимої маси состава (зчепу вагонів) під час зрушенні з місця

Допустиму масу состава при зрушенні з місця на заданій ділянці колії розраховувати при почерговому зрушенні вагонів состава. Для составів з вагонів с різними параметрами приймати середнє по составу значення маси та довжини одного вагона, маси на вісь і середньозваженого основного питомого опору руху вагонів.

Результатом варіаційних розрахунків зрушення состава з місця на заданій ділянці колії є гранична кількість вагонів з прийнятими параметрами, які забезпечують зрушення з місця локомотива. В такому випадку критеріями оцінки є величина заданого прискорення руху наприкінці шляху зрушення з місця або швидкості локомотива на ділянці шляху зрушення.

Якщо швидкість після початку руху не зменшиться до нуля на заданій ділянці, то локомотив забезпечує зрушення состава з місця.

1.6.3. Визначення допустимої маси состава на сортувальній гірці

У разі приближення вагонів на сортувальну гірку, розраховується зрушення состава з місця на підгірному шляху с урахуванням заданої швидкості руху вагонів на горбі гірки в процесі їх розпуску.

За задану швидкість руху вагонів на горбі гірки припустима маса

состава знаходиться тільки для випадку неперервного руху без зупинки складу перед горбом гірки.

Для состава, зупиненого перед горбом гірки, необхідно розраховувати можливість розтягування частини состава для почергового зрушення з місця цієї частини. Допустиму масу состава, зупиненого у горба гірки, знаходити з урахуванням можливості розтягування частини складу.

1.6.4. Визначення маси состава на передаточних і під'їзних коліях

Для передаточних і під'їзних колій, довжина яких в п'ять і більше раз перевищує довжину состава, але не менше 5 км, допустима маса состава розраховується за умови руху з рівномірною швидкістю на розрахунковому підйомі або з урахуванням кінетичної енергії поїзда за діючими «Правилами тягових розрахунків».

1.6.5. Спрямлення профілю колії

Для урахування впливу кривих, стрілочних переводів і уклонів колії на опір руху поїзда необхідно спрямляти повздовжній профіль і план колії. При цьому криві в плані колії та стрілочні переводи потрібно замінити фіктивним підйомами в межах спрямованих елементів.

Спрямлення профілю колії виконується по профілю, плану та стрілочними переводам всіх ділянок колії, які знаходяться під локомотивом і составом (поїздом), або під рушійною частиною состава (поїзда), довжина якої змінюється в процесах почергового зрушення вагонів з місця та розпуску состава з сортувальної гірки.

Приведений уклон спрямленої ділянки колії за наявності кривих і стрілочних переводів визначається за формулою:

$$i_c = i'_c + i''_c + i'''_c, \quad (1.97)$$

де i'_c – величина ухилу спрямленої ділянки колії, ‰;

i''_c, i'''_c – приведені фіктивні підйоми, ‰, еквівалентні за опором руху опору кривих ω_r і від стрілок з їх кривими $\omega_{стр} + \omega_{г.стр}$.

Величина ухилу спрямованої ділянки колії, ‰,

$$i'_c = \left(i_1 \Delta L_k + \sum_{j=1}^n i_j \Delta L_j + i_{n+1} \Delta L_n \right) / l_n, \quad (1.98)$$

де i_1 – величина ухилу першого елемента колії, що знаходиться під поїздом, ‰;

ΔL_k – частина довжини першого елемента колії, на якому знаходиться хвостова частина поїзда, який рухається в прямому напрямку, або голова поїзда при зворотному напрямку руху, м;

j – порядковий номер елемента колії (збільшується при віддаленні від початку координат);

i_j – величина ухилу j -го елемента колії, ‰;

ΔL_j – довжина j -го елемента колії, м;

i_{n+1} – величина ухилу останнього елемента колії, що знаходиться під поїздом, ‰;

ΔL_n – частина довжини першого елемента колії, на якому знаходиться голова поїзда, який рухається в прямому напрямку, або хвіст поїзда при зворотному напрямку руху, м;

l_n – довжина состава з тепловозом (поїзда), м.

В процесах почергового зрушення вагонів з місця або розформування состава на сортувальній гірці величина l_n в формулі (1.98) є змінною величиною, котра представляю собою довжину частини состава яка почала рухатись (поїзда) або довжину яка залишилась на частині колії насуву на гірку ще на розформованій частині состава.

Приведений фіктивний підйом, ‰, від кривих

$$i''_c = \omega_r, \quad (1.99)$$

а приведенний фіктивний підйом від стрілочних переводів

$$i'''_c = \omega_{стр}, \quad (1.100)$$

де ω_r , $\omega_{стр}$ – додатковий питомий опір від кривих, що визначається за

формулам (1.30) – (1.38), і від стрілочних переводів, знаходимо що визначається за (1.39) – (1.42), відповідно, Н/кН.

1.6.6. Визначення довжини рухомого состава (поїзда)

Довжину состава (поїзда) l_{Π} в маневровій операції визначається як сума довжин локомотива l_{Γ} і вагона (состава) $l_{\text{ст}}$

$$l_{\Pi} = l_{\Gamma} + l_{\text{ст}}. \quad (1.101)$$

Довжина стисненого состава (зчепу вагонів) $l_{\text{стс}}$ визначається як сума довжин вагонів $l_{\text{в}}$

$$l_{\text{стс}} = \sum_{j=1}^n l_{\text{в}j}, \quad (1.102)$$

де $n = n_{\text{в}}$ – кількість вагонів в составі.

Довжина розтягнутого состава $l_{\text{стр}}$ визначається з урахуванням зазорів δ_3 в автозчехах між вагонами

$$l_{\text{стр}} = (n-1)\delta_3 + \sum_{j=1}^n l_{\text{в}j}, \quad (1.103)$$

а розтягнутого состава разом з локомотивом за формулою:

$$l_{\Pi} = l_{\Gamma} + n\delta_3 + \sum_{j=1}^n l_{\text{в}j}. \quad (1.104)$$

Довжина одиниць рухомого складу (вагонів і тепловозів) наведені в табл. 1.10.

Довжина стисненого состава з однорідних вагонів (з однаковою довжиною $l_{\text{в}}$ і масою на вісь q_0) визначається:

– за кількістю вагонів $n_{\text{в}}$ та їх довжиною $l_{\text{в}}$

$$l_{\text{стс}} = n_{\text{в}} l_{\text{в}}; \quad (1.105)$$

Таблиця 1.10

Довжина одиниць рухомого складу

Тип рухомого складу	Довжина l , м
<i>Вагони пасажирського парку</i>	
Чотиривісні суцільнометалеві	25
Інші чотирьохосьові вагони пасажирського парку, в том числі поштові, багажні і службові	20
<i>Вагони вантажного парку</i>	
Восьмивісні напіввагони	20
Восьмивісні цистерни	21
Шестивісні	17
Чотиривісні криті і ізотермічні	15
Чотиривісні криті для перевозки скота (спеціальні)	18
Чотиривісні напіввагони і платформи	14
Чотиривісні цистерни, цементовози, думпкари	12
<i>Тепловози</i>	
ТЕМ2, ТЕМ2У	17
ТЕМ7	21,5
ЧМЕЗ	17,2
ЧМЕЗМ	18,2
2ТЕ10В/і	34
2ТЕ116	36,3
3ТЕ10М	51

– за масою состава M_B та погонній масі вагонів на 1 метр $-q_{bl}$, т/м,

$$l_{\text{стс}} = M_B / q_{bl}; \quad (1.106)$$

– за масою состава M_B , і масою на вісь колісної пари q_0 , кількістю осей вагона n_0 і довжиною вагона l_B

$$l_{\text{стс}} = \frac{M_B}{q_0 n_0} l_B. \quad (1.107)$$

1.6.7. Визначення швидкості руху та часу виконання маневрової операції

Розрахунок швидкості та часу руху рухомого складу в маневровій операції (групи вагонів, состава з локомотивом, поїзда) виконують за

рівнянням руху, віднесеному (приведеному) до 1 т маси рухомого состава

$$a = \frac{dv}{dT} = \xi r, \quad (1.108)$$

де r – результуюча питома сила (прискорювальна або уповільнювальна), н/кН;

ξ – прискорення руху рухомого складу з урахуванням інерції обертаючих мас у разі дії одиниці питомого результуючого зусилля, $(\text{км/год}^2)/(\text{Н/кН})$.

$$\xi = \frac{1}{1000(1 + \gamma)}, \quad (1.109)$$

γ – безрозмірний коефіцієнт, враховуючий момент інерції обертальних мас;

$$\gamma = \frac{\gamma_{\text{т}} P + \gamma_{\text{г}} M_{\text{вг}} + \gamma_{\text{п}} M_{\text{вп}}}{P + M_{\text{вп}} + M_{\text{вг}}}, \quad (1.110)$$

де $M_{\text{вг}}$ – маса частини состава, який складається з навантажених вагонів, т;

$M_{\text{вп}}$ – маса частини состава, яка складається з порожніх вагонів, т;

P – маса локомотива, т.

Коефіцієнт інерції обертальних мас приймається для навантажених вагонів $\gamma_{\text{т}} = 0,028$, для порожніх вагонів $\gamma_{\text{п}} = 0,058$. Для локомотивів коефіцієнт $\gamma_{\text{т}}$ приймається за результатами досліджень, а за відсутності цих результатів приймається $\gamma_{\text{т}} = 0,114$ або визначається за формулою:

$$\gamma_{\text{т}} = 0,6 \frac{M_{\text{об}}}{M}, \quad (1.111)$$

де $M_{\text{об}}$ – маса обертальних частин;

M – загальна маса одиниці рухомого складу даного типу.

Запитання для самоконтролю

1. Від яких факторів залежить основний питомий опір руху маневрових тепловозів та вагонів?
2. Як визначаються діапазони швидкості руху вагонів на роликових підшипниках у розрахунках зрушення з місця та розгону состава при маневровій роботі?
3. Які додаткові опори руху існують та від чого вони залежать?
4. Визначення додаткових питомих опорів руху від кривої та від стрілочних переводів.
5. Визначення гальмівної сили пневматичних та електричних гальм локомотива.
6. Яким чином враховується вплив атмосферних умов на силу тяги локомотива?
7. Визначення результуючої сили, що діє на рухомий склад за різні режими руху.
8. Визначення допустимої маси состава (зчепу вагонів) під час зрушення з місця на сортувальній гірці та на передаточних і під'їзних коліях.
9. Порядок спрямлення профілю колії, фіктивні підйоми.
10. Особливості визначення довжини поїзда у разі стиснутого та розтягнутого состава.

КООРДИНАТИ ТА ДОВЖИНА ШЛЯХУ МАНЕВРОВИХ РЕЙСІВ І НАПІВРЕЙСІВ

2.1. Загальні положення

2.1.1. Координати

Координати голови L_{Π} і хвосту L_{κ} поїзда, голови L'_{Π} і хвосту L'_{κ} частина поїзда, що рухається в процесі зрушення з місця, коли ще не всі вагони состава почали рух, визначається по відношенню до початкової координати відрахування елементів колії L_0 або за відношенням до іншої координати, заданої за умовами маневрової роботи та визначеної відносно початкової координати L_0 .

Такими координатами можуть бути координата L_{Γ} горба гірки, $L_{\Gamma\kappa}$ колонки для зарядки гальм або будь-яка задана координата L_3 .

Формули для знаходження координат L_{Π} , L_{κ} , L'_{Π} , L'_{κ} приймаються в залежності від вибору координат відліку (L_{Γ} , $L_{\Gamma\kappa}$, L_3 , L_0), від напрямку руху (прямий або зворотній) від положення локомотива (спереду або позаду состава), від стану состава (стиснутий або розтягнутий).

Координати L_{Π} , L_{κ} , L'_{Π} , L'_{κ} визначаються для наступних стадій виконання маневрових операцій: до початку зрушення з місця, в процесі зрушення від моменту зрушення першого (останнього) за напрямком руху вагона до моменту зрушення останнього (першого) вагона состава, в процесі руху состава, в момент початку розформування состава, в процесі розформування, після розформування, перед початком попереднього розтягування (стиснення), в процесі попереднього розтягування (стиснення), після закінчення попереднього розтягування (стиснення).

2.2. Координати та довжина шляху при насуві та розформуванні состава на сортувальній горці

2.2.1. Координати на сортувальній гірці

Координати голови – $L_{\text{п}}$ і хвоста – $L_{\text{к}}$ поїзда, що знаходиться на колії насуву сортувальної гірки, та координати – $L'_{\text{п}}$ голови, що почала рухатись частини поїзда (рис. 2.1), визначається за наступними формулами.

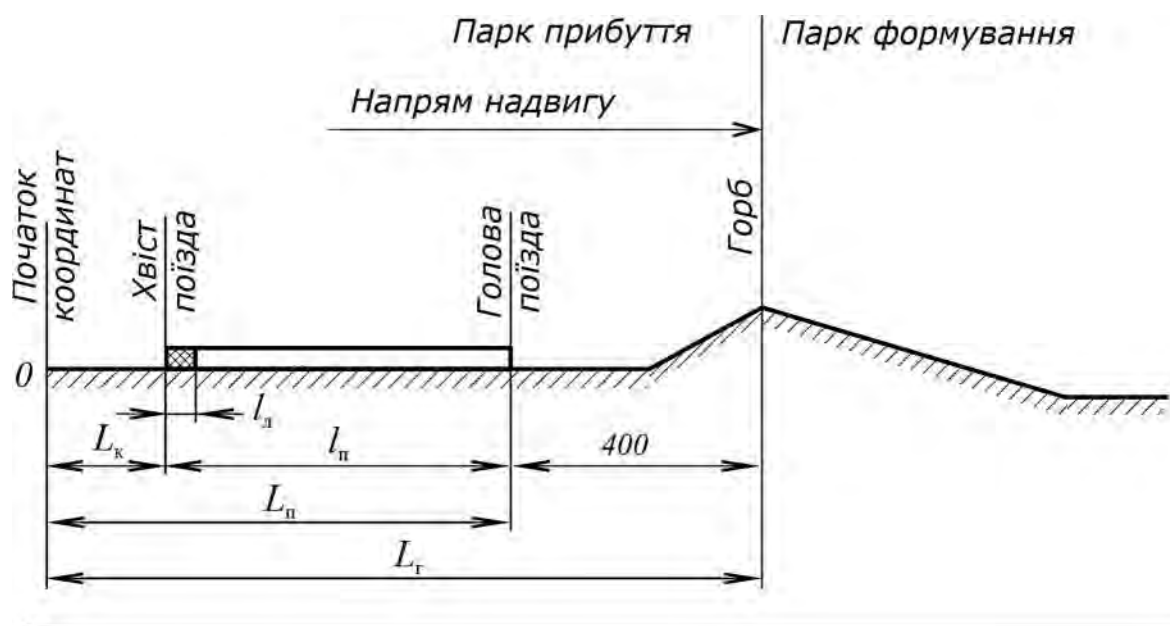


Рис. 2.1. Координати перед початком руху розтягнутого состава

Перед початком руху розтягнутого складу (див. рис. 2.1)

$$L'_{\text{п}} = L_{\text{г}} - (400 + l_{\text{стр}}); \quad (2.1)$$

$$L_{\text{к}} = L_{\text{г}} - (400 + l_{\text{л}} + l_{\text{стр}}), \quad (2.2)$$

де $L_{\text{г}}$ – координати горба гірки, м;

400 м – відстань від першого вагона (за напрямом руху при насуві) до горбу гірки, що приймають за відсутності даних о фак-

тичній довжини колії насуву у конкретних випадках розрахунку;

$l_{\text{стр}}$ – довжина розтягнутого состава, що знаходиться за формулою (1.103), м;

$l_{\text{л}}$ – довжина локомотива, м.

В процесі зрушення (стискання) состава до моменту зрушення першого вагона (рис. 2.2) координати

$$L'_{\text{п}} = L_{\text{г}} - (400 + l_{\text{п}} - l'_{\text{п}} - n'_b \delta_3) = L_{\text{г}} - [400 + (n_b - n'_b)(l_b + \delta_3)]; \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} L_{\text{к}} &= L_{\text{г}} - [400 + (n_b - n'_b)(l_b + \delta_3) + l'_{\text{п}}] = \\ &= L_{\text{г}} - [400 + l_{\text{л}} + n_b(l_b + \delta_3) - n'_b \delta_3], \end{aligned} \quad (2.4)$$

де $l_{\text{п}}$ – довжина розтягнутого поїзда, що знаходиться за формулою (1.104), м;

$l'_{\text{п}}$ – довжина частини поїзда, що рухається, м.

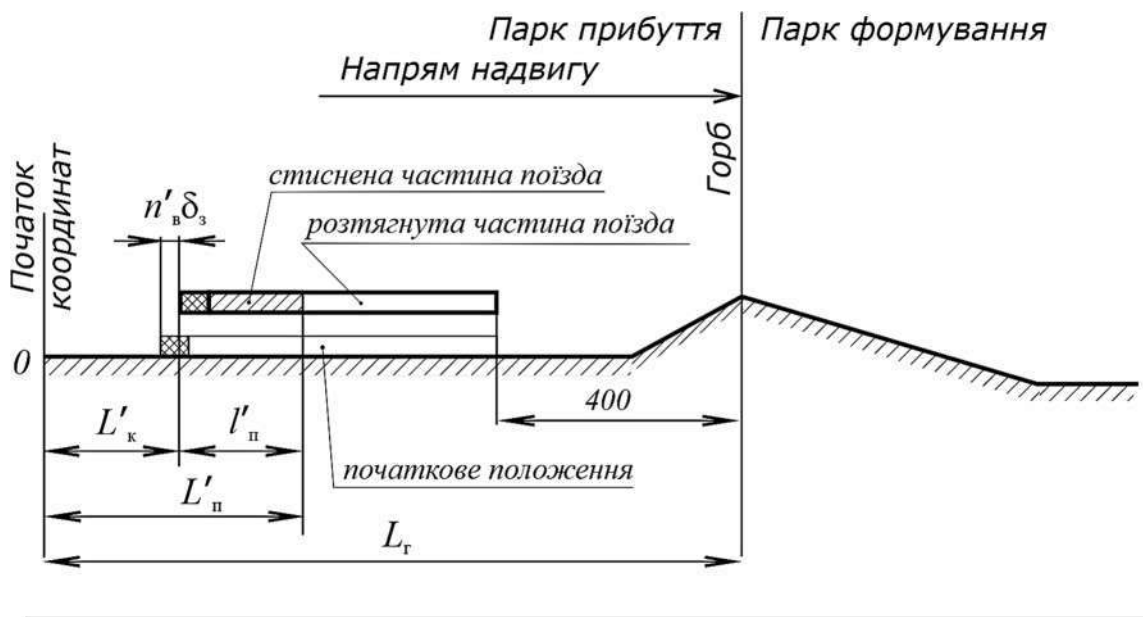


Рис. 2.2. Координати до моменту зрушення першого вагона

$$l'_{\Pi} = l_{\text{л}} + n'_B l_B, \quad (2.5)$$

де l_B – довжина вагона, м;

δ_3 – зазор в автозчехах, з'єднуючих два суміжних вагона або вагон з локомотивом, м;

n'_B – кількість вагонів які почали рух, од;

n_B – кількість вагонів в составі, задане або знайдене за формулами, од.

$$n_B = \frac{M_B}{q_0 n_0}; \quad (2.6)$$

$$n_B = \frac{M_B}{q_{BL} l_B}, \quad (2.7)$$

де M_B – маса вагонів (состава), т;

q_0 – маса на вісь вагона, т/вісь;

q_{BL} – погонне навантаження від маси вагонів на одиницю довжини, т/м.

Перед початком руху стисненого состава або в момент зрушення першого вагона розтягнутого состава

$$L_{\Pi} = L_{\Gamma} - 400, \quad (2.8)$$

$$L_K = L_{\Gamma} - (400 + l_{\text{л}} + l_{\text{стр}}), \quad (2.9)$$

де $l_{\text{стр}}$ – довжина стисненого состава, що знаходиться за формулами (1.102), (1.105), ... (1.107), м.

В процесі руху по колії насуву состава розтягнутого перед початком зрушення

$$L_{\Pi} = L_{\Gamma} - 400 + S - n_B \delta_3, \quad (2.10)$$

$$L_K = L_{\Gamma} - (400 + l_{\text{л}} + l_{\text{стр}}) + S; \quad (2.11)$$

стисненого перед початком зрушення

$$L_{\Pi} = L_{\Gamma} - 400 + S, \quad (2.12)$$

$$L_{\kappa} = L_{\Gamma} - (400 + l_{\text{л}} + l_{\text{стс}}) + S, \quad (2.13)$$

де S – шлях локомотива з составом (поїзда) від місця початку руху, м.

В момент підходу першого вагона до горба гірки (рис. 2.3)

$$L_{\Pi} = L_{\Gamma}; \quad (2.14)$$

$$L_{\kappa} = L_{\Gamma} - (l_{\text{л}} + l_{\text{стс}}). \quad (2.15)$$

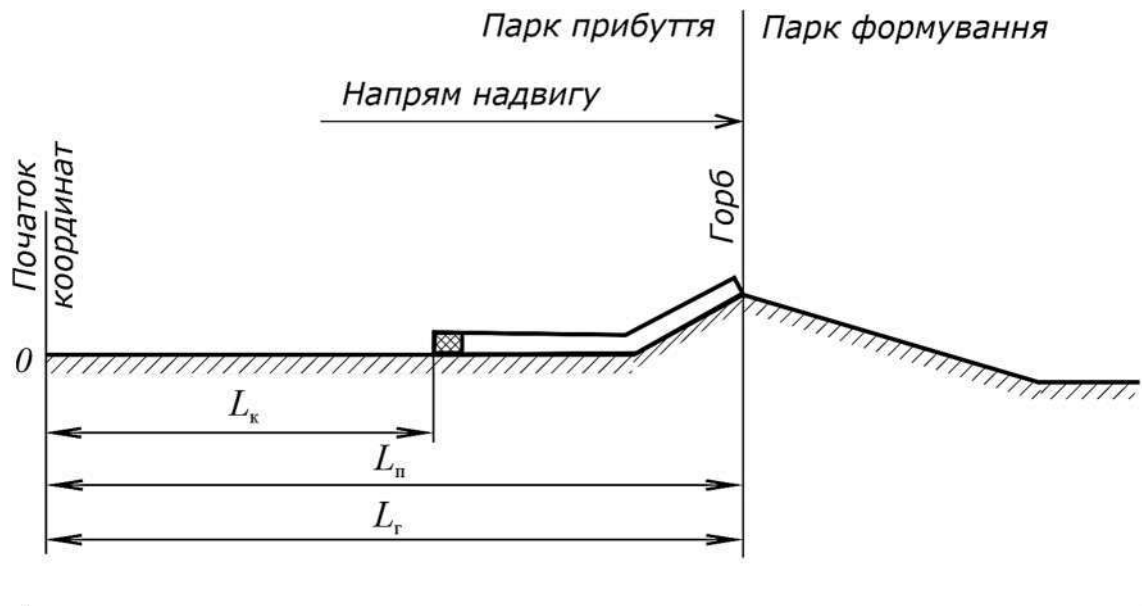


Рис. 2.3. Координати в момент підходу першого вагона до горба гірки

В процесі розформування состава (рис. 2.4)

$$L_{\Pi} = L_{\Gamma} + 0,32l_{\text{в}}, \text{ при } n_{\text{в.Відч}j} = 1; \quad (2.16)$$

$$L_{\Pi} = L_{\Gamma} + 0,3l_{\text{в}}n_{\text{в.Відч}j}, \text{ при } n_{\text{в.Відч}j} > 1; \quad (2.17)$$

$$L_{\kappa} = L_{\Gamma} - [l_{\text{л}} + l_{\text{в}}(n_{\text{в}} - n_{\text{в}}'')], \quad (2.18)$$

де $n_{\text{в.в\ddot{d}ч}j}$ – кількість вагонів в j -му відчепі;

$n''_{\text{в}}$ – кількість вагонів, відчеплених від состава до цього моменту, в усіх попередніх операціях.

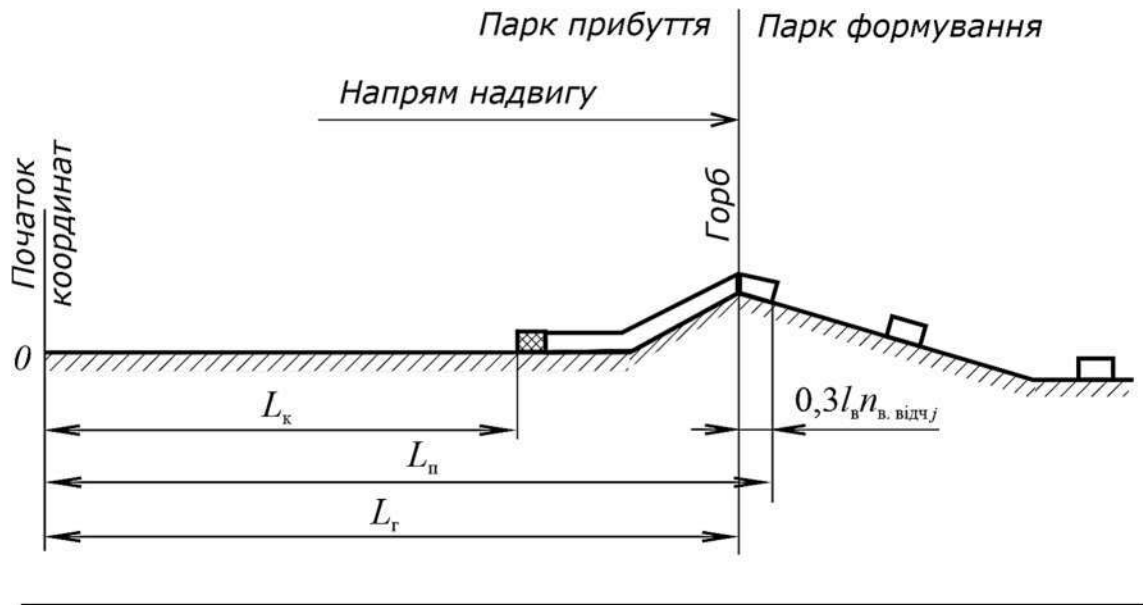


Рис. 2.4. Координати в процесі розформування состава

Після розпуску всього состава в момент підходу локомотива к горбу гірки (рис. 2.5) координата $L_{\text{к}}$ визначається за формулою:

$$L_{\text{к}} = L_{\text{г}} - l_{\text{л}}. \quad (2.19)$$

В тому випадку, коли перед початком розформування состава його зупиняють біля горба гірки, координати від яких починають повторний рух для розпуску

$$L_{\text{п}} = L_{\text{г}} - S_{\text{зр}}, \quad (2.20)$$

де $S_{\text{зр}}$ – шлях зрушення, див. формулу (1.11), м.

$$L_{\text{к}} = L_{\text{г}} - (S_{\text{зр}} + l_{\text{л}} + l_{\text{стс}}). \quad (2.21)$$

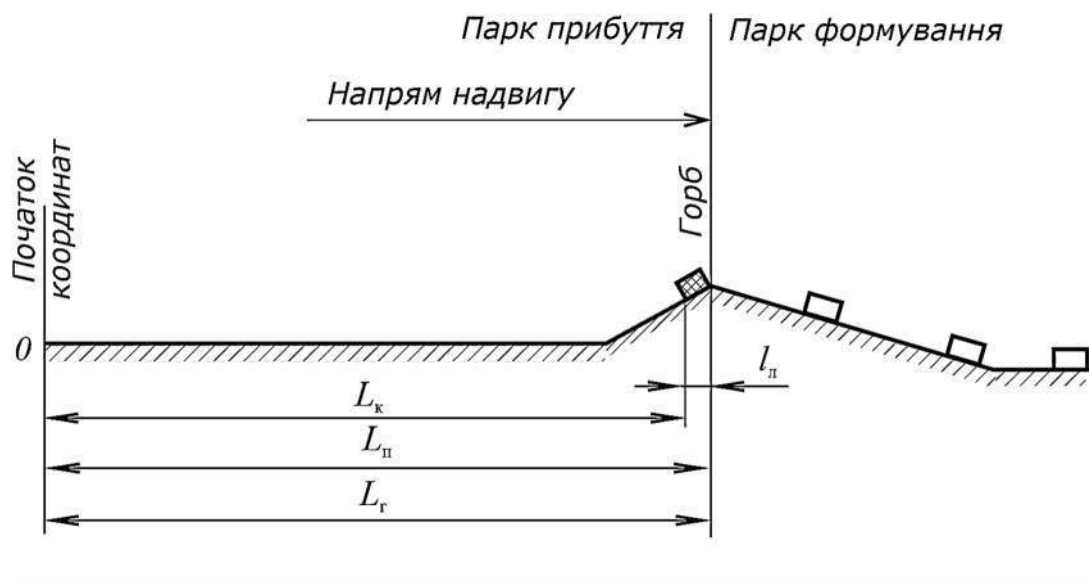


Рис. 2.5. Координати після розпуску всього состава в момент підходу локомотива до горба гірки

2.2.2. Координати ділянки розрахунку приведенного профілю

Ділянка, для якої необхідно розрахувати приведений профіль шляху (за формулою (1.97)) при насуві і розформуванні состава, знаходиться між координатою L_k , розрахованій за формулою (2.2) і координатою L_{Π} , розрахованій за формулою (2.17) за максимальному значенні величини $n_{в.відчj}$ в розформованому составі.

Довжина цієї ділянки:

– у разі розтягнутого состава

$$\sum L_j = 400 + l_{\Pi} + l_{стр} + 0,3l_{в} n_{в.відчj}, \quad (2.22)$$

– у разі стиснутого состава

$$\sum L_j = 400 + l_{\Pi} + l_{стс} + 0,3l_{в} n_{в.відчj}. \quad (2.23)$$

2.2.3. Координати стиснутого состава

Координати стиснутого состава, котрому локомотив не може забезпечити зрушення з місця в прямому напрямку (на гірку), в процесі розтягу визначаються:

– перед початком розтягування

$$L'_\Pi = L_\Gamma - (400 + l_{\text{стр}}); \quad (2.24)$$

– L_k – за формулою (2.9).

В процесі розтягування під час руху локомотива в зворотному напрямку

$$L'_\Pi = L_\Gamma - [400 + (n_B - n'_B) + \delta_3], \quad (2.25)$$

$$L_k = L_\Gamma - (400 + l_\Pi + l_{\text{стр}} + n'_B \delta_3). \quad (2.26)$$

Наприкінці розтягування за формулами (2.1) і (2.2).

2.2.4. Розтягування состава на гірці

В випадку, коли локомотив не в змозі забезпечити зрушення з місця состава, зупинившись перед горбом гірки, кількість вагонів $n_{\text{в.рст}}$, котрі можливо розтягнути на горизонтальній ділянці колії перед насувом, визначається за формулою:

$$n_{\text{в.рст}} = n_B - \frac{400}{l_B} \left(1 + \frac{\omega_i \omega_{\text{зр}}}{\omega_{\text{зр}}} \right), \quad (2.27)$$

де ω_i – додатковий питомий опір від підйому на гірку який визначається за формулою (1.28) для ділянки шляху $L_\Gamma = 400$ м від координати $(L_\Gamma - 400)$ до координати L_Γ ; Н/кН;

$\omega_{\text{зр}}$ – основний питомий опір руху вагонів під час зрушення з місця,

що визначається за формулами (1.13) за заданих величинах температури t_0 , часу простою $T_{\text{пр}}$, Н/кН.

Розтягування можливо за умови

$$n_{\text{в.рст}} \geq 2, \quad (2.28)$$

а практично має сенс за умови

$$n_{\text{в.рст}} > 0,2n_{\text{в}}. \quad (2.29)$$

Координати на початку цієї відстані визначаються за формулами (2.20) і (2.21). Координата $L_{\text{п}}$ в процесі цього розформування не змінюється, а координата $L_{\text{к}}$, м, визначається за формулами:

– в процесі розтягування

$$L_{\text{к}} = L_{\text{г}} - (S_{\text{тр}} + l_{\text{л}} + l_{\text{стс}} + n'_{\text{в}} \delta_3), \quad (2.30)$$

де $n'_{\text{в}} \leq n_{\text{в.рст}}$;

– в кінці розтягування

$$L_{\text{к}} = L_{\text{г}} - (S_{\text{тр}} + l_{\text{л}} + l_{\text{стс}} + n_{\text{в.рст}} \delta_3). \quad (2.31)$$

Повний шлях насуву та розформування, м, пройдений локомотивом від місця початку руху до моменту зупинки перед горбом гірки, після відчепу останнього вагону, який спускається з гірки, визначається за формулами:

– для стиснутого состава

$$S_{\text{нф}} = 400 + l_{\text{стс}} = 400 + n_{\text{в}} l_{\text{в}}, \quad (2.32)$$

– для розтягнутого состава

$$S_{\text{нф}} = 400 + l_{\text{стр}} = 400 + n_{\text{в}} (l_{\text{в}} + \delta_3). \quad (2.33)$$

Шлях насуву, пройдений локомотивом від місця початку руху до місця, де знаходиться локомотив, коли перший вагон підійшов до

горба гірки, визначається:

– для стисненого состава

$$S_{\text{н}} = 400 \text{ м}; \quad (2.34)$$

– для розтягнутого соства

$$S_{\text{н}} = 400 + n_{\text{в}} \delta_3. \quad (2.35)$$

Шлях розформування складу, пройдений локомотивом від місця, в якому знаходився локомотив, коли перший вагон підійшов до горба гірки, до місця зупинки перед горбом гірки після відчіплення останнього вагона, що спускається з гірки, дорівнює довжині стисненого состава

$$S_{\text{ф}} = l_{\text{стс}}. \quad (2.36)$$

Шлях розтягування состава перед насувом у разі, коли локомотив не забезпечує зрушення з місця стисненого состава, визначається за формулою:

$$S_{\text{рст}} = n_{\text{в}} \delta_3 = 0,12 n_{\text{в}}. \quad (2.37)$$

Шлях розтягування состава, зупиненого перед горбом гірки, у разі коли локомотив не забезпечує зрушення з місця стисненого состава, визначається за формулою:

$$S_{\text{рст}} = \delta_3 n_{\text{в.рст}}. \quad (2.38)$$

2.3. Координати та довжина шляху у зворотному витягуванні состава з парку формування на колію насуву

2.3.1. Координати при зворотному витягуванні состава на гірку

У разі зворотного витягування состава з парку формування через горб гірки на колію насуву для повторного розпуску состав рухається у зворотному напрямку.

У разі збереження для зворотного напрямку руху тих же символів координат, які були прийняті і для прямого напрямку руху, координати голови L_k і хвоста поїзда L_{Π} визначаються за такими формулами:

– перед початком руху состава (рис. 2.6)

$$L_k = L_r + 250; \quad (2.39)$$

– для розтягнутого состава

$$L_{\Pi} = L_r + 250 + l_{\Pi} + l_{стр}; \quad (2.40)$$

– для стиснутого состава

$$L'_{\Pi} = L_r + 250 + l_{\Pi} + l_{стс}, \quad (2.41)$$

де 250 м – відстань від горба гірки до локомотива, що витягує состав назад на гірку, що приймається, якщо не задана інша величина для конкретного випадку.

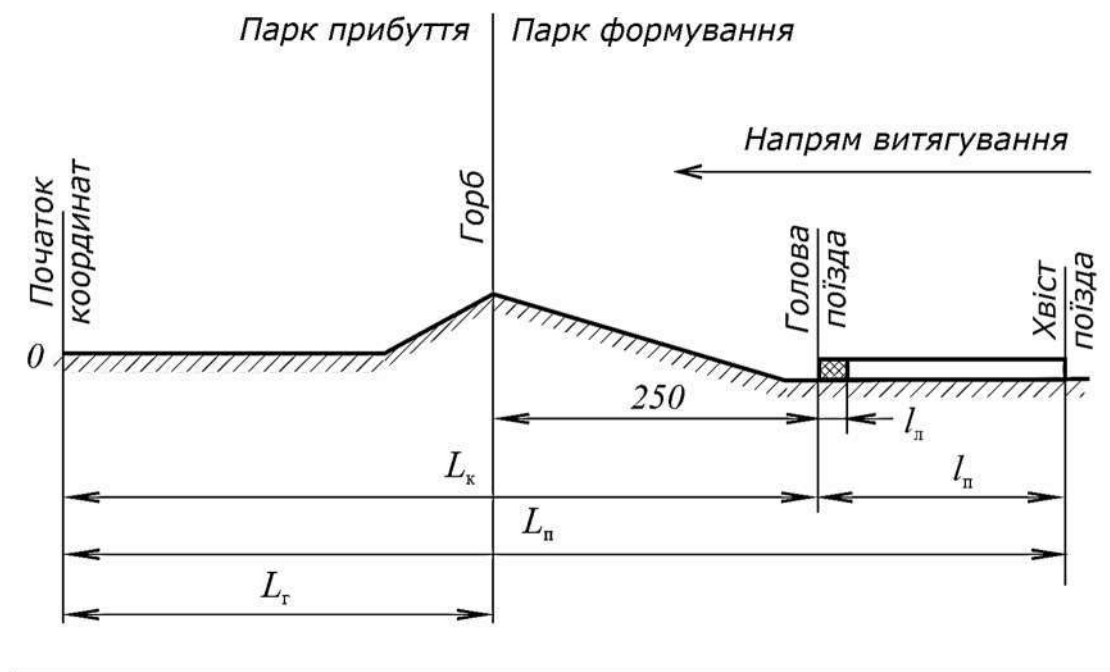


Рис. 2.6. Координати при зворотному витягуванні состава на гірку перед початком руху

У процесі зрушення (розтягування) стиснутого состава до моменту зрушення останнього вагона (рис. 2.7)

$$L'_\Pi = L_\Gamma + 250 + l_\Pi + n'_B(l_B - \delta_3), \quad (2.42)$$

$$L_K = L_\Gamma + 250 - n'_B \delta_3. \quad (2.43)$$

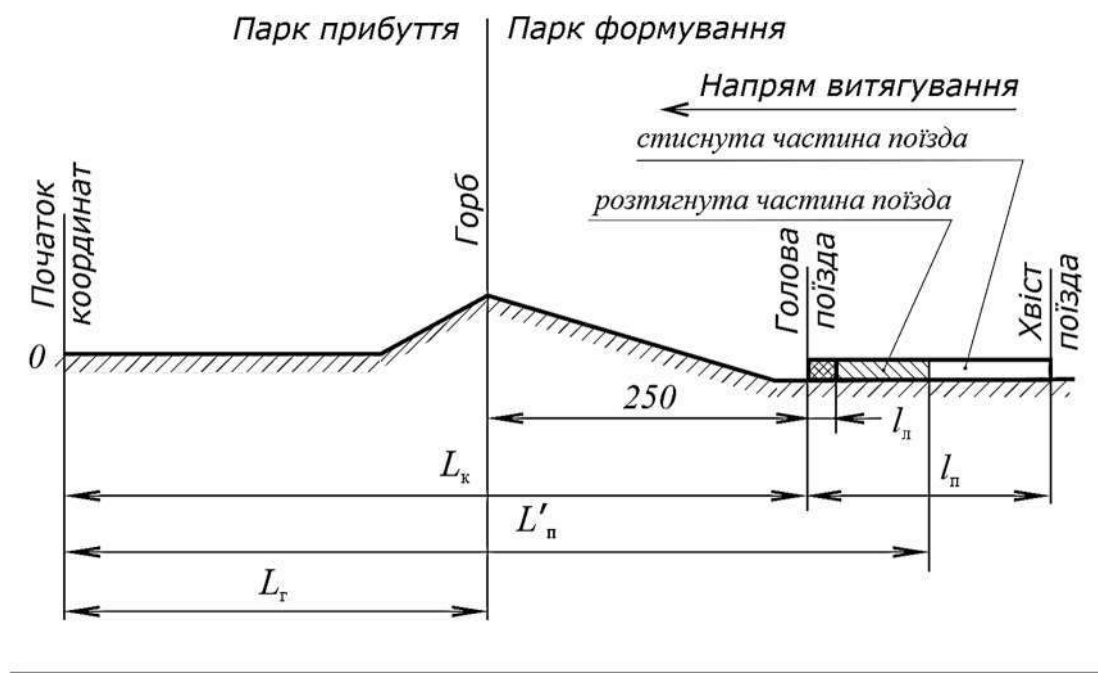


Рис. 2.7. Координати у процесі зрушення (розтягування) стиснутого состава до моменту зрушення останнього вагона

У момент зрушення останнього вагона стиснутого состава L_Π визначати за формулою (2.40), в якій значення $l_{стр}$ замінено на $l_{стс}$

$$L_K = L_\Gamma + 250 - n_B \delta_3. \quad (2.44)$$

У процесі руху состава у зворотному напрямку до горба гірки

$$L_\Pi = L_\Gamma + 250 + l_{ст} - S; \quad (2.45)$$

$$L_K = L_\Gamma + 250 - S, \quad (2.46)$$

де S – шлях локомотива з составом (поїздом) від місця початку руху, м;
 $l_{\text{стс}}$ – у формулі (2.45) приймає значення $l_{\text{стр}}$ для розтягнутого (перед
 початком руху) і $l_{\text{стс}}$ для стиснутого состава, м.

У момент зупинки состава після витягування на колію насуву в позиції початку повторного розпуску (рис. 2.8)

$$L_{\text{п}} = L_{\text{г}}, \quad (2.47)$$

$$L_{\text{к}} = L_{\text{г}} - (l_{\text{л}} + l_{\text{стс}}). \quad (2.48)$$

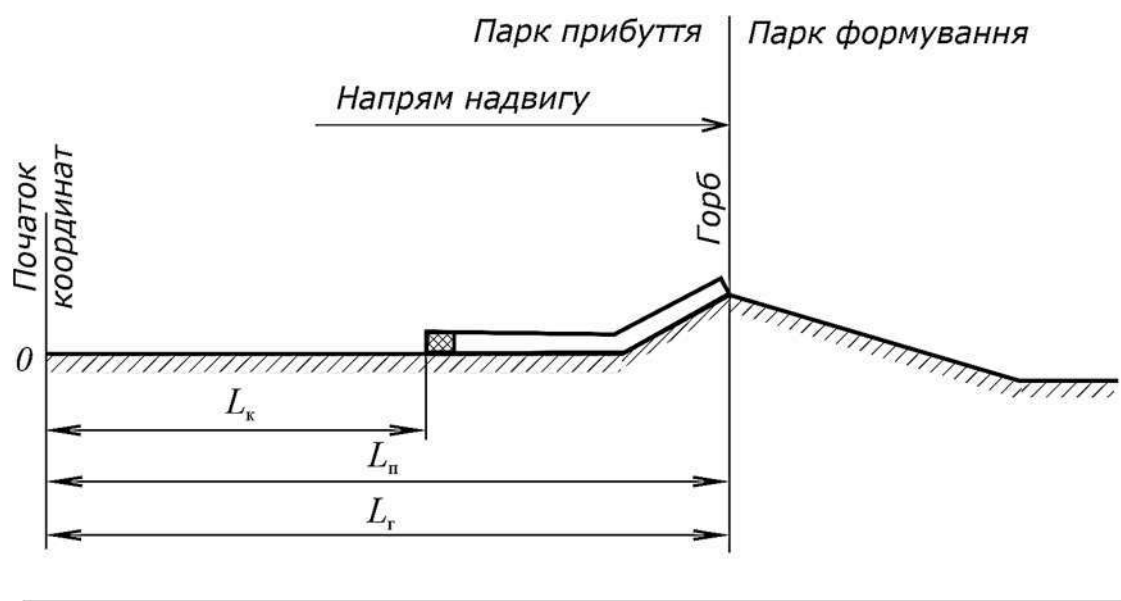


Рис. 2.8. Координати у момент зупинки состава після витягування на колію насуву в позиції початку повторного розпуску

2.3.2. Координати ділянки наведеного профілю при зворотному витягуванні

Ділянка, для якої необхідно розрахувати наведений профіль шляху за формулою (1.97) при зворотному витягуванні состава, розташований між координатою $L_{\text{к}}$, розрахованої за формулою (2.48) і координатою $L_{\text{п}}$, розрахованої за формулою (2.40). У разі зрушення стиснутого состава значення $l_{\text{стр}}$ у формулі (2.40) замінювати значенням $l_{\text{стс}}$.

Довжина цієї ділянки визначається за формулами:

– при розтягнутому составі

$$\sum \Delta L_j = 250 + l_{\text{л}} + l_{\text{стр}} + l_{\text{стс}}, \quad (2.49)$$

– при стиснутому составі

$$\sum \Delta L_j = 250 + l_{\text{л}} + 2l_{\text{стс}}. \quad (2.50)$$

2.3.3. Координати розтягнутого состава при зворотному витягуванні

Координати розтягнутого состава, який локомотив не зрушує з місця у зворотному напрямку при витягуванні через горб гірки на колії насуву, в процесі попереднього стиснення визначається таким чином:

– перед початком стиснення $L'_{\text{п}}$ – за формулою (2.41), $L_{\text{к}}$ – за формулою (2.39);

– у процесі стиснення під час руху локомотива у прямому напрямку

$$L'_{\text{п}} = L_{\text{г}} + 250 + n'_{\text{в}}(l_{\text{в}} + \delta_3), \quad (2.51)$$

$$L'_{\text{к}} = L_{\text{г}} + 250 + n'_{\text{в}}\delta_3; \quad (2.52)$$

– наприкінці стиснення

$$L_{\text{п}} = L_{\text{г}} + 250 + n_{\text{в}}(l_{\text{в}} + \delta_3), \quad (2.53)$$

$$L_{\text{к}} = L_{\text{г}} + 250 + n_{\text{в}}\delta_3. \quad (2.54)$$

2.3.4. Шлях зворотного витягування

Повний шлях зворотного витягування состава через горб гірки на колію насуву визначається за формулою:

$$S_{\text{зв}} = 250 + l_{\text{л}} + l_{\text{стр}}. \quad (2.55)$$

2.4. Координати та довжина шляху при витягуванні состава з парку формування до парку відправлення

2.4.1. Загальні положення

Процес витягування состава з парку формування в парк відправлення за напрямком руху та основній координаті аналогічний процесу насуву состава на сортувальну гірку, а відрізняється від нього тим, що локомотив знаходиться не в хвості, а в голові состава.

Під час витягування состава з парку формування до парку відправлення состава з локомотивом у голові рухається у прямому напрямку до координати $L_{гк}$. Місце цієї координати відносно початкової координати L_0 задається таким чином, щоб у разі зупинки голови поїзда $L_{п}$ у координати $L_{гк}$ перший або заданий вагон зупинявся біля колонки зарядки пневматичних автогальм. Деякі алгоритми розрахунку витягування состава вимагають задання координати L_3 – місця зупинки хвоста поїзда $L_к$. Цю координату визначають по відношенню до координати $L_{гк}$

$$L_3 = L_{гк} - (l_{л} + l_{стр}). \quad (2.56)$$

2.4.2. Координати у разі витягування до парку відправлення

Перед початком руху з парку формування (рис. 2.9) координати состава (поїзда) визначаються за такими формулами:

$$L_{п} = L_{гк} - 1600; \quad (2.57)$$

– для стиснутого состава

$$L_к = L_{гк} - (1600 + l_{л} + l_{стс}), \quad (2.58)$$

– для розтягнутого состава

$$L_k = L_{ГК} - (1600 + l_l + l_{стр}). \quad (2.59)$$

де 1600 м – шлях локомотива від місця зрушення до місця зупинки. У конкретних розрахунках може бути задана інша величина цього шляху, що відповідає фактичному розташуванню шляхів формування та відправлення.

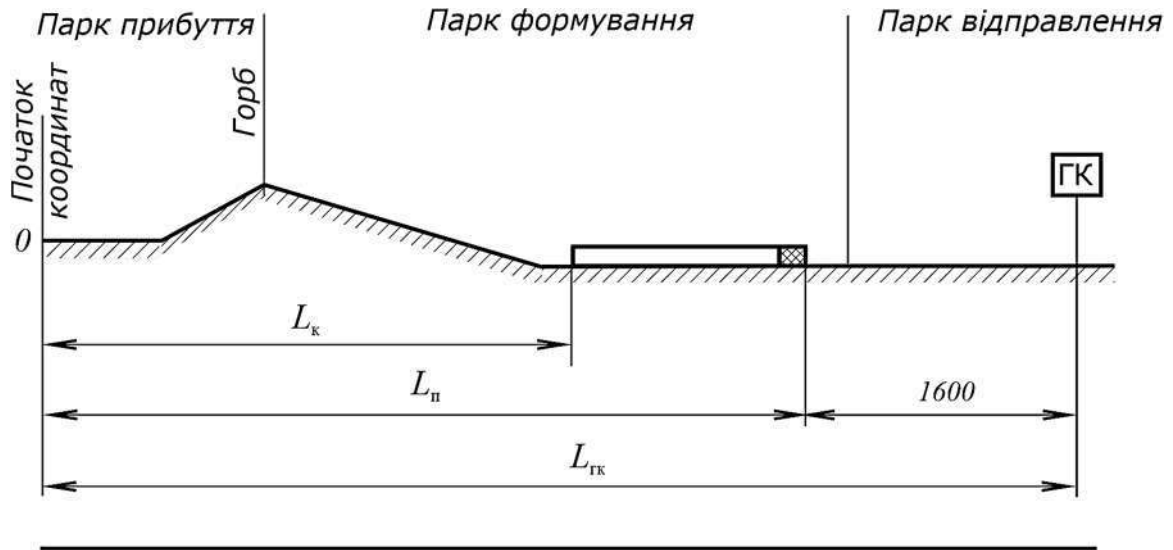


Рис. 2.9. Координати у разі витягування до парку відправлення перед початком руху з парку формування

У процесі зрушення (розтягування) стиснутого состава з місця (рис. 2.10)

$$L_{п} = L_{ГК} - (1600 - n'_B \delta_3), \quad (2.60)$$

$$L'_k = L_{ГК} - (1600 + n'_B (l_B - \delta_3)). \quad (2.61)$$

У момент закінчення процесу розтягування стиснутого состава та початку руху останнього вагона

$$L_{п} = L_{ГК} - (1600 - n_B \delta_3), \quad (2.62)$$

$$L_k = L_{ГК} - (1600 + l_t + l_{стс}). \quad (2.63)$$

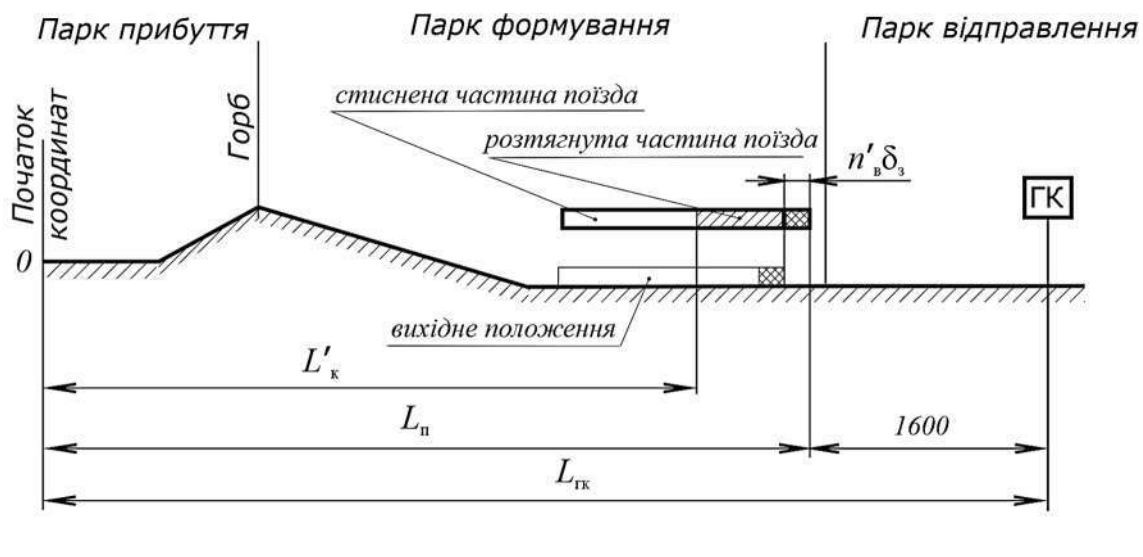


Рис. 2.10. Координати у разі зрушення (розтягування) стиснутого состава з місця з парку формування

У процесі руху з парку формування до парку відправлення

$$L_{\Pi} = L_{ГК} + S - 1600; \quad (2.64)$$

$$L_{\Pi} = L_{ГК} + S - (1600 + l_{\Pi} + l_{ст}), \quad (2.65)$$

де S – шлях локомотива з составом (поїзда) від місця початку руху, м.

У формулі (2.65) величина $l_{ст}$ приймає значення $l_{стс}$ для состава, рух якого починався в стиснутому стані, і $l_{стр}$ для розтягнутого состава.

У момент зупинки состава на коліях парку відправлення

$$L_{\Pi} = L_{ГК}, \quad (2.66)$$

$$L_k = L_3, \quad (2.67)$$

де L_3 визначається за формулою (2.56).

2.4.3. Ділянка розрахунку наведеного профілю у разі витягування до парку відправлення

Ділянка, для якої необхідно розраховувати наведений профіль шляху (за формулою (1.97) при витягуванні состава з парку формування в парк відправлення, розташований між координатою $L_{гк}$ і координатою $L_{к}$, яка визначається для стиснутого состава за формулою (2.63) і для розтягнутого состава – за формулою (2.59).

Довжина цієї ділянки визначається за формулами:

– у разі розтягнутого состава

$$\sum \Delta L_j = 1600 + l_{л} + l_{стр}, \quad (2.68)$$

– у разі стиснутого состава

$$\sum \Delta L_j = 1600 + l_{л} + l_{стс}. \quad (2.69)$$

Запитання для самоконтролю

1. Визначення координат перед початком руху розтягнутого состава.

2. Визначення координат до моменту зрушення першого вагона.

3. Визначення координат в момент підходу першого вагона до горба гірки, у процесі розформування состава та після розпуску всього состава в момент підходу локомотива до горба гірки.

4. Особливості визначення координат та довжини шляху у зворотному витягуванні состава з парку формування на колію насуву.

5. Особливості визначення координати та довжини шляху при витягуванні состава з парку формування до парку відправлення.

ТЯГОВІ РОЗРАХУНКИ МАНЕВРОВИХ ОПЕРАЦІЙ

3.1. Основні завдання

3.1.1. Загальні положення

Основними завданнями тягових розрахунків маневрової роботи є визначення параметрів руху маневрових напіврейсів, типи яких та їх варіації представлені. Предметом аналізу маневрових операцій є час, швидкість, шлях та прискорення руху. Допустиму масу составів у маневровій операції визначають ні в статиці, а в динаміці – тяговим розрахунком процесу зрушення состава з місця локомотивом.

Розрахунки елементів маневрових напіврейсів, залежно від їх типу, включають розв'язання таких завдань.

1. У напіврейсах *розгін-вибіг* визначають:

– максимально можливу $v_{\text{рм}}$ (кінцеву $v_{\text{кр}}$) швидкість розгону за заданими початковою $v_{\text{п}}$ та кінцевою $v_{\text{к}}$ швидкостями на ділянці шляху S ;

– довжину ділянки шляху розгону $S_{\text{р}}$ за умови отримання наприкінці шляху вибігу заданої кінцевої швидкості $v_{\text{к}}$ (під час руху на ділянці шляху, що залишилася $S_{\text{з}}$, від швидкості $v_{\text{рм}}$ ($v_{\text{кр}}$) до швидкості $v_{\text{к}}$).

2. У напіврейсах *розгін-вибіг-гальмування*, крім швидкості $v_{\text{рм}}$ ($v_{\text{кр}}$) і довжини ділянки $S_{\text{р}}$ додатково визначають:

– швидкість $v_{\text{кв}}$ закінчення вибігу та початку гальмування;

– довжину гальмівного шляху $S_{\text{г}}$ за умови отримання заданої кінцевої швидкості $v_{\text{кг}} = v_{\text{к}}$ наприкінці ділянки шляху S .

3. У напіврейсах *розгін-рух із рівномірною* (максимально допуска-

ється) швидкістю-вибіг визначають довжину ділянки руху з рівномірною (максимально-припустимою) швидкістю, тобто місце початку вибігу, яке забезпечить рух із заданою кінцевою швидкістю v_k у заданій точці шляху.

4. У напіврейсах розгін-рух із рівномірною (максимально допускається) швидкістю-вибіг-гальмування визначають:

- швидкість v_{kv} закінчення вибігу та початку гальмування;
- довжину гальмівного шляху S_g за умови отримання заданої кінцевої швидкості $v_{kt} = v_k$ у кінці ділянки шляху.

За відсутності вибігу в такому напіврейсі визначають довжину гальмового шляху за умови уповільнення руху від швидкості v_{pm} до заданої кінцевої швидкості $v_{kt} = v_k$ в кінці ділянки шляху.

3.1.2. Розрахунок максимальної швидкості

У тягових розрахунках маневрових операцій визначаються швидкість і час ходу на заданому інтервалі шляху, розрахунки шляху та часу за заданими інтервалами швидкості, що включають розрахунки гальмівного шляху, розрахунки допустимої маси состава.

Відмінними рисами у розрахунках для маневрової роботи є визначення максимально можливої швидкості v_{pm} та розрахунки ділянок колії з різними режимами руху (розбіг, вибіг, рівномірна швидкість, гальмування), кінцевою метою яких є вихід у задану точку шляху із заданою кінцевою швидкістю v_k .

Максимально можливу швидкість наприкінці розгону $v_{pm}(v_{kp})$ і шлях розгону S_p розраховують методом ітерацій або методом поєднання прямого та зворотного розрахунку від координат точок початку та кінця руху.

3.2 Розрахунок параметрів руху на заданому інтервалі шляху

3.2.1. Швидкість та час руху

Швидкість, км/год, та час руху, хв, наприкінці заданого інтервалу шляху визначають за формулами:

$$v_{j+1} = \sqrt{v_j^2 + 2a\Delta S_j} \text{ або } v_k = \sqrt{v_{\Pi}^2 + 2a\Delta S_j}; \quad (3.1)$$

$$\Delta T_j = \frac{v_{j+1} - v_j}{a} \text{ або } \Delta T_j = \frac{v_k - v_{\Pi}}{a}, \quad (3.2)$$

- де a – прискорення, що визначається за формулою (1.108), км/год²;
 ΔS – j -й інтервал шляху, м;
 v_j, v_{Π} – швидкість руху на початку j -го інтервалу шляху (початкова швидкість), км/год;
 v_{j+1}, v_k – швидкість руху в кінці j -го і на початку $(j+1)$ -го інтервалу шляху (кінцева швидкість), км/год;
 ΔT_j – час, необхідний для проходження j -го інтервалу, хв.

3.2.2. Середні значення параметрів руху

Середню силу тяги, кН, швидкість, км/год, потужність, кВт, і роботу, кДж, виконану локомотивом в режимі тяги, середні значення сил гальмування, кН, та опору руху, кН, на заданому інтервалі шляху визначаються за формулами:

$$F_{\text{д.сер.}j} = \frac{F_{\text{д}j} + F_{\text{д}(j+1)}}{2}; \quad (3.3)$$

$$v_{\text{сер.}j} = \frac{v_j + v_{(j+1)}}{2}; \quad (3.4)$$

$$N_{\text{д.сер.}j} = F_{\text{д.сер.}j} v_{\text{сер.}j}; \quad (3.5)$$

$$\Delta A_{\text{л}j} = N_{\text{д.сер.}j} \Delta T; \quad (3.6)$$

$$B_{\text{г.сер.}j} = \frac{B_{\text{г}j} + B_{\text{г}(j+1)}}{2}; \quad (3.7)$$

$$W_{\text{сер.}j} = \frac{W_j + W_{(j+1)}}{2}, \quad (3.8)$$

- де $F_{\text{л}j}, B_{\text{г}j}, W_{\text{к}j}$ – сили тяги, гальмування, опору руху на початку j -го інтервалу шляху, що визначаються за відповідним характеристикам та формулами за швидкості v_j , кН;
- $F_{\text{д}(j+1)}, B_{\text{г}(j+1)}, W_{(j+1)}$ – сили тяги, гальмування, опору руху в кінці j -го і на початку $(j+1)$ інтервалі шляху, що визначаються за відповідними характеристиками та формулам за швидкості v_j , кН;
- $F_{\text{д.сер.}j}, B_{\text{г.сер.}j}, W_{\text{сер.}j}$ – середнє значення сили тяги, гальмування, опору руху на j -му інтервалі шляху, кН;
- $v_{\text{сер.}j}$ – середня швидкість руху на j -му інтервалі шляху, км/год;
- $N_{\text{д.сер.}j}$ – середня дотична потужність, що розвивається на j -му інтервалі шляху, кВт;
- $\Delta A_{\text{л}j}$ – робота, що виконується локомотивом під час руху на j -му інтервалі шляху, кДж.

3.3. Розрахунок шляху та часу за швидкістю руху на заданому інтервалі

3.3.1. Розрахунок шляху та часу

В разі коли заданий діапазон зміни швидкості руху від початкової

v_j або до кінцевої або інтервали швидкості від v_{π} до кінцевої v_{j+1} або v_{κ} або інтервали швидкості Δv від v_j або v_{π} до v_{j+1} або v_{κ} , розрахунок шляху S та часу руху T , необхідних для заданої зміни швидкості, визначають інтегруванням за формулами:

$$S = \frac{1}{\xi} \int_{v_j}^{v_{(j+1)}} \frac{v dv}{r} \text{ або } S = \frac{1}{\xi} \int_{v_{\pi}}^{v_{\kappa}} \frac{v dv}{r}; \quad (3.9)$$

$$T = \frac{1}{\xi} \int_{v_j}^{v_{(j+1)}} \frac{dv}{r} \text{ або } T = \frac{1}{\xi} \int_{v_{\pi}}^{v_{\kappa}} \frac{dv}{r}; \quad (3.10)$$

або чисельним (наближеним) інтегруванням за формулами:

$$\Delta S = \frac{v_{(j+1)}^2 - v_j^2}{2\xi r} = \frac{v_{\kappa}^2 - v_{\pi}^2}{2\xi r}, \quad S = \sum_{j=0}^{j=n} \frac{v_{(j+1)}^2 - v_j^2}{2\xi r}; \quad (3.11)$$

$$\Delta T = \frac{v_{(j+1)} - v_j}{\xi r} = \frac{v_{\kappa} - v_{\pi}}{\xi r}, \quad T = \sum_{j=0}^{j=n} \frac{v_{(j+1)} - v_j}{\xi r}, \quad (3.12)$$

де r – середнє значення питомої результуючої сили на заданому інтервалі зміни швидкості руху, Н/кН. Визначається за формулою (1.96).

У тому випадку, якщо в режимах вибігу та гальмування відємні значення питомої результуючої сили – r замінюють позитивними значеннями питомих сил гальмування – b_r та опору руху – ω , то формули (3.11) та (3.12) в режимах вибігу та гальмування набувають вигляду

$$\Delta S = \frac{v_j^2 - v_{(j+1)}^2}{2\xi(b_r + \omega)} = \frac{v_{\pi}^2 - v_{\kappa}^2}{2\xi(b_r + \omega)}, \quad S = \sum_{j=0}^{j=n} \frac{v_j^2 - v_{(j+1)}^2}{2\xi(b_r + \omega_{\kappa})}; \quad (3.13)$$

$$\Delta T = \frac{v_j - v_{(j+1)}}{\xi(b_r + \omega)} = \frac{v_{\pi} - v_{\kappa}}{\xi(b_r + \omega)}, \quad T = \sum_{j=0}^{j=n} \frac{v_j - v_{(j+1)}}{\xi(b_r + \omega)}. \quad (3.14)$$

3.4. Розрахунок максимально можливої швидкості розгону в маневровому напіврейсі методом ітерації

3.4.1. Максимальна швидкість розгону

Під час руху поїзда (состава, локомотива) заданою ділянкою колії довжиною S метрів з прискоренням від початкової швидкості $v_{\text{п}}$ до максимальної швидкості $v_{\text{рм}}$ і подальшому уповільненні від швидкості $v_{\text{рм}}$ до кінцевої швидкості $v_{\text{к}}$, максимальна швидкість руху цією ділянкою у загальному випадку визначається за формулою:

$$v_{\text{рм}} = \sqrt{\frac{(f_{\text{д}} - \omega_{\text{п}})v_{\text{п}}^2 + (b_{\text{г}} + \omega_{\text{к}})v_{\text{к}}^2 + 2\xi S(f_{\text{д}} - \omega_{\text{п}})(b_{\text{г}} + \omega_{\text{к}})}{f_{\text{д}} - \omega_{\text{п}} + b_{\text{г}} + \omega_{\text{к}}}}, \quad (3.15)$$

де $f_{\text{д}}$ – середня питома сила тяги на ділянці розгону, Н/кН;

$\omega_{\text{п}}$ – середній питомий опір руху состава на ділянці розгону, від швидкості $v_{\text{п}}$ до швидкості $v_{\text{рм}}$, Н/кН;

$b_{\text{г}}$ – середня питома гальмівна сила на ділянці уповільнення, Н/кН;

$\omega_{\text{к}}$ – середній питомий опір руху состава на ділянці уповільнення від швидкості $v_{\text{рм}}$ до швидкості $v_{\text{к}}$, Н/кН.

У разі руху на ділянці уповільнення без гальмування, тобто руху вибігом, формула (3.15) набуває вигляду:

$$v_{\text{рм}} = \sqrt{\frac{(f_{\text{д}} - \omega_{\text{п}})v_{\text{п}}^2 + \omega_{\text{к}}v_{\text{к}}^2 + 2\xi S\omega_{\text{к}}(f_{\text{д}} - \omega_{\text{п}})}{f_{\text{д}} - \omega_{\text{п}} + \omega_{\text{к}}}}. \quad (3.16)$$

Під час руху на ділянці уповільнення із зупинкою наприкінці шляху S , тобто, коли $v_{\text{к}} = 0$, формули (3.15) та (3.16), відповідно набувають вигляду:

$$v_{pm} = \sqrt{\frac{(\omega_k + b_\Gamma) v_\Pi^2 + 2\xi S(f_d - \omega_\Pi)(b_\Gamma + \omega_k)}{f_d - \omega_\Pi + \omega_k + b_\Gamma}}, \quad (3.17)$$

$$v_{pm} = \sqrt{\frac{\omega_k v_\Pi^2 + 2\xi S \omega_k (f_d - \omega_\Pi)}{f_d - \omega_\Pi + \omega_k}}. \quad (3.18)$$

Під час руху поїзда (состава, локомотива) на прямій горизонтальній ділянці колії, коли $\omega_\Pi = \omega_k = \omega$ з прискоренням від початкової швидкості v_Π до максимальної швидкості v_{pm} і уповільненням від швидкості v_{pm} до кінцевої швидкості v_k формули (3.15) і (3.16) відповідно набувають вигляду:

$$v_{pm} = \sqrt{\frac{(\omega + b_\Gamma) v_\Pi^2 + (f_d - \omega) v_k^2 + 2\xi S(f_d - \omega)(\omega + b_\Gamma)}{f_d + b_\Gamma}}, \quad (3.19)$$

$$v_{pm} = \sqrt{\frac{\omega v_\Pi^2 + (f_d - \omega) v_k^2 + 2\xi S \omega (f_d - \omega)}{f_d}}. \quad (3.20)$$

У разі, коли уповільнення поїзда (состава, локомотива) здійснюється до тієї ж швидкості, з якої було розпочато прискорення руху, тобто у випадку, коли $v_\Pi = v_k = v$, формула (3.15) набуває вигляду:

$$v_{pm} = \sqrt{v^2 + \frac{2\xi S(f_d - \omega_\Pi)(\omega_k + b_\Gamma)}{f_d - \omega_\Pi + \omega_k + b_\Gamma}}, \quad (3.21)$$

у разі вибігу формула (3.16) набуває вигляду:

$$v_{pm} = \sqrt{v^2 + \frac{2\xi S \omega_k (f_d - \omega_\Pi)}{f_d - \omega_\Pi + \omega_k}}. \quad (3.22)$$

За умови $v_\Pi = v_k = v$ та $\omega_\Pi = \omega_k = \omega$ рівняння (3.19) набуває вигляду:

$$v_{pm} = \sqrt{v^2 + \frac{2\xi S(f_d - \omega)(b_r - \omega)}{f_d + b_r}}, \quad (3.23)$$

і у разі вибігу рівняння (3.20) набуває вигляду

$$v_{pm} = \sqrt{v^2 + \frac{2\xi S\omega(f_d - \omega)}{f_d}}. \quad (3.24)$$

3.4.2. Шлях розгону та уповільнення

Шлях розгону S_p та уповільнення S_y визначається за формулами (3.9) або (3.11). Для розрахунку шляху уповільнення може бути використана і формула (3.13). У даному випадку ітераційного розрахунку ці формули набувають вигляду:

$$S_p = \frac{v_{pm}^2 - v_{\pi}^2}{2\xi(f_d - \omega_{\pi})}, \quad (3.25)$$

$$S_y = \frac{v_{\kappa}^2 - v_{pm}^2}{-2\xi(\omega_{\kappa} + b_r)} = \frac{v_{pm}^2 - v_{\kappa}^2}{2\xi(\omega_{\kappa} + b_r)}. \quad (3.26)$$

У разі коли шлях уповільнення состав (поїзд) проходить шляхом вибігу без гальмування, питоме гальмівне зусилля у формулі (3.26) дорівнює нулю $b_r = 0$.

3.4.3. Питомі сили

Питомі зусилля ω_{κ} , ω_{π} , b_r , f_d у формулах (3.15) – (3.26) визначаються на етапі ітерації за формулами (1.44) – (1.46), (1.74), (1.75), (1.84). При цьому формули питомих сил опору руху середньої на ділянці розгону ω_{π} та середньої на ділянці уповільнення ω_{κ} відповідно приймають вигляд:

$$\omega_{\Pi} = \frac{\omega'_0 P + \omega''_0 M_B + \omega(P + M_B)}{P + M_B}; \quad (3.27)$$

$$\omega_K = \frac{\omega_x P + \omega''_0 M_B + \omega(P + M_B)}{P + M_B}, \quad (3.28)$$

які на першому етапі ітерації набувають значення

$$\omega_{\Pi} = \omega_{\Pi 1}; \quad (3.29)$$

$$\omega_K = \omega_{K1}, \quad (3.30)$$

а на другому та всіх наступних кроках ітерації

$$\omega_{\Pi} = 0,5(\omega_{\Pi 1} + \omega_{\Pi 2}), \quad \omega_{\Pi} = 0,5(\omega_{\Pi 1} + \omega_{\Pi j}), \quad (3.31)$$

$$\omega_K = 0,5(\omega_{K1} + \omega_{K2}), \quad \omega_K = 0,5(\omega_{K1} + \omega_{Kj}). \quad (3.32)$$

Питомі сили гальмівна та тяги на першому етапі ітерації приймають значення

$$b_{\Gamma} = b_{\Gamma 1}, \quad (3.33)$$

$$f_d = f_{d1}, \quad (3.34)$$

на другому та всіх наступних кроках ітерації

$$b_{\Gamma} = 0,5(b_{\Gamma 1} + b_{\Gamma 2}), \quad b_{\Gamma} = 0,5(b_{\Gamma 1} + b_{\Gamma j}), \quad (3.35)$$

$$f_d = 0,5(f_{d1} + f_{d2}), \quad f_d = 0,5(f_{d1} + f_{dj}). \quad (3.36)$$

3.4.4. Визначення сил W_{Π} , W_K , B_{Γ} , F_d

Сили W_{Π} , W_K , B_{Γ} , F_d в ітераційному розрахунку приймають такі значення.

На першому кроці ітерації

$$W_{\pi} = W_{\pi 1}, \quad (3.37)$$

$$W_{\kappa} = W_{\kappa 1}, \quad (3.38)$$

$$F_{\text{д}} = F_{\text{д}1}, \quad (3.39)$$

$$B_{\Gamma} = B_{\Gamma 1}, \quad (3.40)$$

де $W_{\pi 1}$ – сила опору руху на початку шляху розгону S_p , розрахована за формулою (1.86), у якій значення W'_0 визначені за відповідними значеннями ω'_0 – (1.1), (1.3), (1.5), (1.7), (1.9), значення W''_0 за відповідними значеннями ω''_0 – (1.13)–(1.23), (1.27) за швидкості руху v_{π} , а значення W – за додатковим питомим опором від наведеного ухилу ω , (1.43), відповідному положенню рухомого складу (поїзда), коли його голова знаходиться в точці початку шляху розгону від швидкості v_{π} , до швидкості $v_{\text{рм}}$, кН;

$W_{\kappa 1}$ – сила опору руху наприкінці уповільнення (вибігу або гальмування), розрахована за формулою (1.86), у якій значення W'_0 визначені за відповідними значеннями ω_x (1.2), (1.4), (1.6), (1.8), (1.10), за швидкості v_{κ} значення W''_0 визначені так само, як і для $W_{\kappa 1}$, але за швидкості v_{κ} , а значення W – за наведеним питомим опором ω (1.43), відповідному положенню рухомого складу, коли його голова знаходиться в точці кінця шляху уповільнення S_y за швидкості v_{κ} , кН;

$B_{\Gamma 1}$ – гальмівна сила, розрахована за формулами (1.47) та (1.57), а для електричних гальм за (1.56) та (1.57) за швидкості v_{κ} (приймається менше значення результатів розрахунку за формулами (1.47) та (1.57) або (1.56) та (1.57), кН;

$F_{\text{д}1}$ – сила, тяги локомотива за швидкості v_{π} , визначена за тяговою характеристикою на j -й позиції контролера машиніста, що задовольняє умові

$$v_{\text{км},j} \leq v_{\pi} \leq v_{\text{км}(j+1)}, \quad (3.41)$$

де $v_{\text{км},j}$ – швидкість переходу з $(j-1)$ позиції контролера машиніста

на j -ту позицію, км/год;
 $v_{\text{км}(j+1)}$ – швидкість переходу з j -ї позиції контролера машиніста на
 $(j+1)$ позицію, км/год.

Силу тяги на j -й позиції, обраної за умовою (3.41) перевіряють за умови $a > a_{\min}$ та

$$a_{j1} \leq a_{\max}, \quad (3.42)$$

де a_{j1} – прискорення за формулою (1.108) за силою тяги $F_{\text{д}1}$, км/год²;
 $a_{\max}$ – задана величина максимального прискорення, км/год².

На другому та всіх наступних кроках ітерації

$$W_{\text{п}} = \frac{W_{\text{п}1} + W_{\text{п}2}}{2}, \quad W_{\text{п}} = \frac{W_{\text{п}j} + W_{\text{п}(j+1)}}{2}; \quad (3.43)$$

$$W_{\text{к}} = \frac{W_{\text{к}1} + W_{\text{к}2}}{2}, \quad W_{\text{к}} = \frac{W_{\text{к}j} + W_{\text{к}(j+1)}}{2}; \quad (3.44)$$

$$B_{\text{г}} = \frac{B_{\text{г}1} + B_{\text{г}2}}{2}, \quad B_{\text{г}} = \frac{B_{\text{г}j} + B_{\text{г}(j+1)}}{2}; \quad (3.45)$$

$$F_{\text{д}} = \frac{F_{\text{д}1} + F_{\text{д}2}}{2}, \quad F_{\text{д}} = \frac{F_{\text{д}j} + F_{\text{д}(j+1)}}{2}, \quad (3.46)$$

де $W_{\text{п}2}$, $W_{\text{к}2}$ – сила опору руху наприкінці шляху розгону $S_{\text{р}}$ і на початку шляху уповільнення $S_{\text{у}}$, розраховані так само $W_{\text{п}1}$ та $W_{\text{к}2}$, але за першому значенні швидкості $v_{\text{рм}1}$, отриманої за однією з формул (3.15)–(3.24) в результаті розрахунку першого кроку ітерації та при положенні голови состава (поїзда) наприкінці шляху розгону $S_{\text{р}}$, розрахованого при першому значенні швидкості $v_{\text{рм}1}$ за формулою (3.25), кН;

- B_{r2} – гальмівна сила, розрахована так само як і B_{r1} , але за першим значенням швидкості v_{pm1} , кН;
- F_{d2} – сила тяги локомотива за швидкості v_{pm1} , визначена за тяговою характеристикою для j -ої позиції контролера, що задовольняє умові

$$v_{km.j} \leq v_{pm1} \leq v_{km(j+1)}, \quad (3.47)$$

та умові (3.42), кН;

$W_{пj}, W_{kj}$ – сили опору наприкінці шляху розгону S_p і на початку шляху уповільнення, розраховані так само, як $W_{п2}$ і $W_{к2}$ але при черговому попередньому значенні швидкості $v_{pm(j-1)}$, кН;

B_{rj} – гальмівна сила, розрахована так не, як і B_{r2} , але при черговому попередньому значенні швидкості $v_{pm(j-1)}$, кН;

F_{dj} – сила тяги локомотива за швидкості $v_{pm(j-1)}$, визначена за тяговою характеристикою з дотриманням умови (3.47), у якому значення v_{pm1} замінено значенням $v_{pm(j-1)}$, та умови (3.42).

3.4.5. Критерій закінчення розрахунку

Критеріями закінчення розрахунку швидкості v_{pm} та довжини шляху розгону S_p та уповільнення S_y являються похибками розрахунку довжини шляху та кінцевої швидкості v_k .

Критерій похибки розрахунку шляху ΔS_ε перевіряють після кожного кроку інтеграції

$$\Delta S_\varepsilon \left| S - \left(\tilde{S}_p + \tilde{S}_y \right) \right| \leq |\Delta S_{зд}|; \quad (3.48)$$

або

$$\Delta S_{\varepsilon} \left| S - \left(\tilde{S}_p + \tilde{S}_y \right) \right| \leq |0,5 \Delta S_j|, \quad (3.49)$$

де S — заданий шлях, м;

$\tilde{S}_p, \tilde{S}_y$ — шлях розгону та уповільнення, розрахований за формулами (3.25) та (3.26);

$\Delta S_{зд}$ — задана величина припустимої похибки розрахунку шляху, м;

ΔS_j — довжина останнього інтервалу шляху наприкінці ділянки руху із уповільненням до швидкості v_k , м.

Критерій похибки розрахунку швидкості перевіряється за результатами її розрахунку на заданій ділянці шляху за інтервалами ΔS_j та формулою (3.1)

$$\Delta v = |\tilde{v}_k - v| \leq \Delta v_{зд}, \quad (3.50)$$

де v_k — задана швидкість, км/год;

$\tilde{v}_k$ — швидкість розрахована за формулою (3.1) наприкінці останнього інтервалу шляху, км/год;

$\Delta v_{зд}$ — задана величина, допустимої похибки швидкості, км/год.

Запитання для самоконтролю

1. Основні задачі тягових розрахунків при маневровій роботі.
2. Типи маневрових напіврейсів та їх характеристики.
3. Визначення максимальної швидкості руху.
4. Особливості визначення параметрів руху на заданому інтервалі шляху.
5. Які параметри визначають значення максимальної швидкості руху ділянкою?
6. Визначення питомих сил на етапах ітерації.
7. Визначення критеріїв щодо закінчення розрахунку швидкості, довжини шляху розгону та уповільнення.

Перевірка тягових електричних машин на нагрівання

4.1. Основні положення

4.1.1. Загальні положення

Всі розрахунки з нагрівання тягових електричних машин виконуються шляхом визначення температури перегрівання, тобто температури перевищення лімітуючих обмоток над температурою навколишнього середовища. На нагрівання перевіряються або тяговий генератор або тягові електродвигуни. В якості обмежувальної обмотки приймається у тягового генератора обмотки якоря та додаткових полюсів, у тягових електродвигунів – обмотка якоря. У разі електричного (реостатного) гальмування перевіряються на нагрівання гальмівні резистори, обмотка збудження та обмотка якоря тягового електродвигуна.

Найбільше допустиме перевищення температури обмоток над температурою навколишнього повітря за його максимальної температури $t_{0\max}$ приймається за рекомендаціями [3].

У разі максимальної температури зовнішнього повітря більше $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ перевищення обмоток тягових електричних машин, що допускається, зменшується на відповідне число градусів. Максимальна температура зовнішнього повітря приймається за даними метеорологічних станцій як середня багаторічна (щонайменше п'ять років). Розрахунок нагрівання тягових електричних машин виконується для літнього та зимового періодів.

4.1.2. Початкові дані

Розрахункова температура навколишнього повітря приймається за даними метеорологічних станцій як середня багаторічна (не менше ніж

за п'ять років) за вимірами в 7, 13 і 19 годин за місцевим часом для літнього періоду за червень, липень і серпень і визначається за формулою

$$t_0 = \frac{t_7 + 2t_{13} + t_{19}}{4}, \quad (4.1)$$

але не нижче $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$, а зимового періоду за грудень, січень і лютий, але не нижче $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4.2. Розрахунок перевищень температур обмоток

4.2.1. Перевищення температури обмоток

Перевищення температури обмоток електричних машин τ визначається за формулами:

– у процесі нагрівання

$$\tau = \tau_{\infty} \left(1 - e^{-\frac{\Delta T}{T}} \right) + \tau_0 e^{-\frac{\Delta T}{T}}; \quad (4.2)$$

– у процесі охолодження

$$\tau = \tau_0 e^{-\frac{\Delta T}{T}}, \quad (4.3)$$

де τ_{∞} – перевищення температури обмотки над температурою навколишнього середовища, $^{\circ}\text{C}$;

$e=2,718$ – основа натуральних логарифмів;

ΔT – інтервал часу нагріву (остигання), хв.

T – постійна часу нагріву, хв;

τ_0 – початкове перевищення температури обмотки над температурою довкілля, $^{\circ}\text{C}$.

В орієнтовних розрахунках допускається визначати температуру за формулами:

– у процесі нагрівання

$$\tau = \tau_{\infty} \frac{\Delta T}{T} + \tau_0 \left(1 - \frac{\Delta T}{T} \right); \quad (4.4)$$

– у процесі охолодження

$$\tau = \tau_0 \left(1 - \frac{\Delta T}{T} \right). \quad (4.5)$$

4.2.2. Порядок розрахунку

Перевищення температури τ_{∞} , що встановилося, та значення постійної часу T нагрівання обмоток електричних машин визначаються з урахуванням наявних по конкретній електричній машині теплових характеристик, наведеним на рис. рис. Б.1–Б.4 в залежності від сили струму, що протікає обмоткою.

Перевищення температури обмоток тягових електричних машин визначається за формулами (4.2), (4.3) або в наближених розрахунках за – (4.4), (4.5) на кожному інтервалі шляху ΔS_j тягового розрахунку за час ΔT_j проходження локомотивом цього інтервалу. Величина струму навантаження тягового електродвигуна $I_{\text{дсер.}j}$ приймається як середня за час ΔT_j величина та визначається за залежністю струму генератора (випрямної установки) тепловоза від швидкості руху $I_{\text{г}} = f(v)$ для кожного інтервалу шляху ΔS_j за характеристиками наведеними на рис. В.1 – В.6 з урахуванням числа паралельних ланцюгів (гілок) з'єднання тягових електродвигунів тепловоза

$$I_{\text{д}} = \frac{I_{\text{г}}}{n_{\text{д}}}, \quad (4.6)$$

де $n_{\text{д}}$ – кількість паралельних ланцюгів (гілок) з'єднання тягових електродвигунів тепловоза. Для тепловоза ТЕМ2^{В/і} $n_{\text{д}}=2$, ЧМЕЗ^{В/і} – $n_{\text{д}}=3$, ТЕМ^{В/і} – $n_{\text{д}}=8$.

Нерівномірність розподілу струму по паралельному ланцюгу навантаження тягового генератора (випрямної установки) враховується коефіцієнтом нерівномірності K_n

$$I'_d = K_n I_d. \quad (4.7)$$

Значення величини коефіцієнта нерівномірності K_n наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

**Коефіцієнт нерівномірності навантаження струмом
тягових електродвигунів**

Кількість паралельних гілок навантажень ТЕД, n_d	Величина коефіцієнту нерівномірності для ступеню ослаблення збудження тягових електродвигунів		
	повне збудження	перша ступінь	друга ступінь
1	1,00	1,00	1,00
2	1,10	1,18	1,26
3	1,14	1,22	1,31
6	1,13	1,26	1,36
8	1,19	1,27	1,37

Значення τ_0 у формулах (4.2) – (4.5) в кожному інтервалі розрахунку приймається рівним результату розрахунку τ в попередньому інтервалі $\tau_{0j} = \tau_{j-1}$. Величина T – постійної часу процесу остигання приймається струму навантаження $I_d = 0$. За відсутності вказаних значень величину T визначають орієнтовно методом графічної екстраполяції до перетину кривої залежності $T = f(I)$ з віссю ординат.

Допускається розрахунок температури нагріву обмоток тягових електродвигунів та генераторів за кривими нагрівання та охолодження.

4.3. Врахування впливу витрати охолоджуючого повітря на нагрівання тягових електричних машин

4.3.1. Основні формули

Вплив витрати охолоджуючого повітря на перевищення температури τ_{∞} та постійну часу T нагріву обмотки під час роботи на позиції контролера машиніста, відмінної від максимальної, враховується множенням величин τ_{∞} і T , визначеним за рис. Б.1–Б.4 на коефіцієнт $K_{\text{об}}$, що обчислюється за формулою:

$$K_{\text{об}} = \frac{\alpha_{\text{вн}}}{\alpha_{\text{в}}}, \quad (4.8)$$

де $\alpha_{\text{вн}}$ – коефіцієнт тепловіддачі за швидкості охолоджуючого повітря, що відповідає його номінальному натиску та витраті, $\text{Вт}/(\text{см}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

$\alpha_{\text{в}}$ – коефіцієнт тепловіддачі за швидкості охолоджуючого повітря, що відповідає його фактичному напору та витраті, $\text{Вт}/(\text{см}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

$$\alpha_{\text{в}} = \alpha(1 + 0,1v), \quad (4.9)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі у нерухомому повітрі, $\text{Вт}/(\text{см}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
 v – швидкість потоку повітря, м/с.

Швидкість потоку повітря визначається за формулою:

$$v = \sqrt{\frac{2gH_{\text{д}}}{\gamma_{\text{по}}}}, \quad (4.10)$$

де $g = 9,81$ – нормальне прискорення сили тяжіння, м/с²;
 $\gamma_{\text{по}}$ – питома вага повітря, кг/м³;

H_d – динамічний напір охолоджуючого повітря, заданий для кожній позиції контролера машиніста, Н/м.

4.3.2. Врахування впливу снігозахисних пристроїв та приведення перевищення температури обмоток до температури зовнішнього повітря

Найбільше перевищення температури τ обмоток тягових електродвигунів, отримане в розрахунку, слід привести до розрахункової температури зовнішнього повітря з урахуванням обладнання локомотива пристроями снігозахисту за формулою:

$$\tau_p = \tau K_{сз} K_{зп}, \quad (4.25)$$

де τ_p – перевищення температури обмоток тягових електродвигунів, що приведено до розрахункової температури зовнішнього повітря з урахуванням наявності пристроїв снігозахисту, °С;

$K_{сз}$ – коефіцієнт, що враховує зменшення, витрати повітря на охолодження під час встановлення снігозахисних фільтрів. Для зимових умов $K_{сз} = 1,1$, а для літніх – $K_{сз} = 1,0$;

$K_{зп}$ – коефіцієнт, що враховує температуру зовнішнього повітря. Значення коефіцієнтів приймаються за табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Значення коефіцієнта залежності від розрахункової температури зовнішнього повітря

Обмотки	Величина коефіцієнта для температури зовнішнього повітря t_0 , °С							
	0	–5	–10	–15	–20	–25	–30	–35
	коефіцієнт $K_{зп}$							
Полюсів	0,9	0,92	0,94	0,96	0,98	1,0	1,02	1,04
Якоря	0,94	0,95	0,96	0,98	0,99	1,0	1,01	1,02

Запитання для самоконтролю

1. Що являє собою температура перегріву?

2. Які тягові машини та які їхні обмотки перевіряються на перегрів?
3. Визначення розрахункової температури навколишнього повітря.
4. На основі яких залежностей відбувається перевірка на перегрів електричних машин?
5. Від яких параметрів залежить величина температури перегріву?
6. Які приймаються припущення під час перевірки на перегрів електричних машин?
7. Яким чином враховуються вплив витрати охолоджуючого повітря та снігозахисних пристроїв на нагрівання тягових електричних машин?

Визначення витрати палива маневровими тепловозами

5.1. Розрахунок витрати пального на виконання маневрової операції

5.1.1. Визначення загальної витрати пального на маневрову операцію

Витрата палива G на виконання маневрової операції розраховується на кожному інтервалі шляху ΔS_j . Витрата розраховується окремо за інтервалами шляху, пройденими в режимі тяги ($F_d > 0$) та окремо за інтервалами шляху, пройденими в режимі вибігу або гальмування ($F_d = 0$). Результати розрахунку підсумовуються за операцією на заданій ділянці шляху S

$$G = G_t + G_x + G_{eg}, \quad (5.1)$$

де G_t – витрата палива під час роботи у режимі тяги ($F_d > 0$), кг;

G_x – витрата палива на холостому ході дизеля в режимах вибігу або гальмування пневматичними гальмами ($F_d = 0$) та на стоянках, кг;

G_{eg} – витрата палива в режимі гальмування електричним (реостатним) гальмом ($F_d = 0$; $B_{ге} \neq 0$), кг.

У режимі тяги витрата палива визначається за залежностями питомих витрат g_e або залежно від витрат g_d віднесених до одиниці часу роботи, названих нижче тимчасовими витратами. На холостому ході в режимі гальмування електричними гальмами витрата визначається за

залежностями витрат, віднесених до одиниці часу роботи.

5.1.2. Основні формули

Залежно від виду та наявності вихідних даних витрати палива на маневрову операцію визначаються за однією з наступних формул

$$G = \sum_{j=1}^{m'} g_{\text{тj}} \Delta T'_j + \sum_{j=1}^{m''} g_{\text{xj}} \Delta T''_j + \sum_{j=1}^{m'''} g_{\text{ерj}} \Delta T'''_j; \quad (5.2)$$

$$G = \sum_{j=1}^{m'} g_{\text{ej}} \frac{N_{\text{е.ср. j}}}{\eta_{\text{пj}}} \Delta T'_j + \sum_{j=1}^{m''} g_{\text{xj}} \Delta T''_j + \sum_{j=1}^{m'''} g_{\text{ерj}} \Delta T'''_j; \quad (5.3)$$

$$G = \sum_{j=1}^{m'} g_{\text{ej}}^{\text{е}} \frac{P_{\text{г.ср. j}}}{\eta_{\text{дj}}} \Delta T'_j + \sum_{j=1}^{m''} g_{\text{xj}} \Delta T''_j + \sum_{j=1}^{m'''} g_{\text{ерj}} \Delta T'''_j; \quad (5.4)$$

$$G = \sum_{j=1}^{m'} g_{\text{ej}}^{\text{д}} N_{\text{д.ср. j}} \Delta T'_j + \sum_{j=1}^{m''} g_{\text{xj}} \Delta T''_j + \sum_{j=1}^{m'''} g_{\text{ерj}} \Delta T'''_j; \quad (5.5)$$

- де m' – кількість інтервалів шляху $\Delta S'_j$, пройдених в режимі тяги;
- $\Delta T'_j$ – час руху в режимі тяги на j -му інтервалі шляху $\Delta S'_j$, визначений за (3.2);
- m'' – кількість інтервалів шляху $\Delta S''_j$, пройдених під час роботи дизеля на холостому ходу в режимі вибігу та гальмування пневматичними гальмами;
- $\Delta T''_j$ – час руху при роботі дизеля на холостому ходу в режимі вибігу та гальмування пневматичним гальмами на j -му інтервалі шляху $\Delta S''_j$, розрахованому за формулою (3.2);
- m''' – кількість інтервалів шляху $\Delta S'''_j$, пройдених у режимі гальмування електричними гальмами;
- $\Delta T'''_j$ – час руху в режимі гальмування електричними гальмами на j -му інтервалі шляху, розрахованому за формулою (3.2);

- g_t – витрата палива тепловозом за одиницю часу при роботі дизеля під навантаженням, кг/с (г/с, кг/хв, кг/год);
- g_x – витрата палива за одиницю часу під час роботи дизелі на холостому ході, кг/с (г/с, кг/хв, кг/год);
- $g_{ег}$ – витрата палива за одиницю часу при роботі дизеля в режимі гальмування електричними (реостатними) гальмами, кг/с (г/с, кг/хв, кг/год);
- g_e – питома ефективна витрата палива дизеля (витрата палива віднесена до ефективної потужності дизеля N_e за певний час), кг/(кВт·с) (г/(кВт·с), г/(кВт·год), кг/(кВт·год));
- g_e^e – питома витрата палива, віднесена до потужності дизель-генератора на клеммах тягового генератора або випрямної установки P_r (P_{vy}), кг/(кВт·с) (г/(кВт·с), г/(кВт·год), кг/(кВт·год));
- g_e^d – питома дотична витрата палива (витрата палива віднесена до дотичної потужності тепловоза N_d за певний час), кг/(кВт·с) (г/(кВт·с), г/(кВт·год), кг/(кВт·год));
- η_d – к.к.д. тягового приводу, віднесений до обіду колеса, тобто від затискачів (клем) тягового електродвигуна до колеса локомотива, що враховує к.к.д. власне тягового електродвигуна $\eta_{тед}$, та к.к.д. зубчастого редуктора $\eta_{зр}$ і к.к.д. моторно-осьових підшипників $\eta_{моп}$;
- $\eta_{п}$ – к.к.д. передачі тепловоза від вала дизеля до колеса тепловоза, що враховує втрати в тяговому генераторі, випрямної установки, витрати потужності на допоміжні приводи та к.к.д. тягового приводу;
- $N_{д.ср.}$ – середня дотична потужність тепловоза на j -му інтервалі шляху $\Delta S'_j$, що розрахована за формулою (3.5), кВт;
- $N_{е.ср}$ – середня ефективна потужність дизеля на j -му інтервалі шляху $\Delta S'_j$, кВт;

$$N_{е.ср} = N_{д.ср} \frac{\eta_e}{\eta_t} = \frac{N_{д.ср}}{\eta_{п}}, \quad (5.6)$$

де η_e – ефективний к.к.д. дизеля;

η_T – к.к.д. тепловоза;

$P_r (P_{vy})$ – середня потужність дизель-генератора на клеммах тягового генератора, або на клеммах випрямної установки на j -му інтервалі шляху $\Delta S'_j$, кВт.

$$P_{r.c.p} = \frac{N_{d.c.p.}}{\eta_d}. \quad (5.7)$$

5.1.3. Питомі витрати палива

Питомі витрати палива в режимі тяги g_T , g_e , g_e^e , g_e^d визначаються за їх залежністю від ефективної потужності N_e та частоті обертання вала дизеля n_d , потужності тягового генератора P_r , дотичної потужності N_d і швидкості руху v тепловоза. Витрати палива маневровими тепловозами наведені в додатку Г.

Питомі ефективна витрата пального g_e дизеля 2-2Д49 тепловоза ТЕМ7, приймаються постійними на кожній позиції контролера машиніста за табл. 5.1 незалежно від швидкості руху v .

Таблиця 5.1

Питомі витрати палива дизелем 2-2Д49 тепловоза ТЕМ7

Позиція контролера n_{km}	Питома ефективна витрата пального g_e		
	г/(кВт·год)	г/(кВт·с) · 10 ⁻⁴	г/(к.с.·год)
1	271,9	0,7553	200
2	247,5	0,6875	182
3	231,1	0,6419	170
4	224,3	0,6231	165
5	222,3	0,6175	163,5
6	221,6	0,6156	163
7	218,9	0,6081	161
8	220,3	0,6119	162

Питомі витрати палива $g_{\Gamma}/(\text{кВт} \cdot \text{год})$, віднесені до електричної потужності на затискачах тягового генератора P_{Γ} тепловоза ЧМЕЗМ та випрямної установки $P_{\text{ву}}$ тепловоза ТЕМ7 визначаються за формулами:

– для тепловоза ЧМЕЗ:

$$g_{\epsilon}^{\epsilon} = 12587 - 78,82n_{\text{д}} + 0,1846n_{\text{д}}^2 - 1,885 \cdot 10^{-4}n_{\text{д}}^3 + 0,71 \cdot 10^{-7}n_{\text{д}}^4; \quad (5.8)$$

$$g_{\epsilon}^{\epsilon} = 1017 - 8,372P_{\Gamma} + 3,313 \cdot 10^{-2}P_{\Gamma}^2 - 0,61 \cdot 10^{-4}P_{\Gamma}^3 + 5,276 \cdot 10^{-8}P_{\Gamma}^4 - 1,7286 \cdot 10^{-11}P_{\Gamma}^5; \quad (5.9)$$

– для тепловоза ТЭМ7

$$g_{\epsilon}^{\epsilon} = 621 - 1,307n_{\text{д}} + 1,579 \cdot 10^{-3}n_{\text{д}}^2 - 0,616 \cdot 10^{-6}n_{\text{д}}^3; \quad (5.10)$$

$$g_{\epsilon}^{\epsilon} = 365 - 0,3554P_{\text{ву}} + 4,092 \cdot 10^{-4}P_{\text{ву}}^2 - 1,455 \cdot 10^{-7}P_{\text{ву}}^3, \quad (5.11)$$

де $n_{\text{д}}$ – частота обертання валу дизеля, хв^{-1} ;

P_{Γ} , $P_{\text{ву}}$ – потужність на клеммах тягового генератора та випрямної установки, кВт.

5.1.4. Потужність дизеля та генератора

Ефективну потужність дизеля N_{ϵ} , кВт, електричну потужність на затискачах (клеммах) тягового генератора P_{Γ} , кВт, (випрямної установки $P_{\text{ву}}$, кВт) розраховують за формулами (5.6) і (5.7) в залежності від дотичної потужності тепловоза $N_{\text{д}}$, яку визначають за формулою (3.5) у процесі тягового розрахунку на кожному інтервалі шляху ΔS_j .

Допускається визначення ефективної потужності дизеля N_{ϵ} і електричної потужності на затискачах генератора P_{Γ} (випрямляючої установки $P_{\text{ву}}$) іншими способами з використанням їх залежностей між собою.

Потужність на затискачах тягового генератора тепловоза ЧМЕЗМ

визначається за формулою:

$$P_{\Gamma} = 825 + 2,1n_{\text{д}} + 1,819 \cdot 10^{-3} n_{\text{д}}^2 - 1,914 \cdot 10^{-6} n_{\text{д}}^3; \quad (5.12)$$

а потужність на клемах випрямної установки тепловоза ТЕМ7 за формулами:

$$P_{\text{вв}} = -153 + 0,125n_{\text{д}} + 2,137 \cdot 10^{-3} n_{\text{д}}^2 - 0,854 \cdot 10^{-6} n_{\text{д}}^3; \quad (5.13)$$

$$P_{\text{вв}} = -35 + 1,075N_{\text{е}} - 3,333 \cdot 10^{-4} N_{\text{е}}^2 + 1,112 \cdot 10^{-7} N_{\text{е}}^3, \quad (5.14)$$

де $n_{\text{д}}$ – частота обертання валу дизеля, хв^{-1} ;

$N_{\text{е}}$ – ефективна потужність дизеля, кВт.

5.2. Визначення ККД передачі тепловоза та тягового електроприводу

5.2.1. Коефіцієнт корисної дії передачі

Коефіцієнт корисної дії передачі тепловоза визначається за к.к.д. агрегатів, що входять у передачу та потужності, що витрачається на привід допоміжних агрегатів

$$\eta_{\text{п}} = \eta_{\Gamma} \eta_{\text{вв}} \eta_{\text{д}} \eta_{\text{доп}}, \quad (5.15)$$

де η_{Γ} – к.к.д. тягового генератора;

$\eta_{\text{вв}}$ – к.к.д. випрямної установки (на тепловозах з передачею постійного струму приймається $\eta_{\text{вв}} = 1$ або не включають $\eta_{\text{вв}}$ в склад формули (5.15);

$\eta_{\text{д}}$ – к.к.д. тягового привода;

$\eta_{\text{доп}}$ – к.к.д., що враховує витрати потужності на привід допоміжних агрегатів;

$$\eta_{\text{доп}} = \frac{N_{\text{е}} - N_{\text{доп}}}{N_{\text{е}}}. \quad (5.16)$$

Витрати потужності на привід допоміжних агрегатів, кВт, визначають за витратами на привід вентиляторів холодильника $N_{\text{вх}}$, компресора- $N_{\text{ком}}$, вентиляторів тягових електродвигунів $N_{\text{в.тед}}$, вентилятора центрального повітропостачання $N_{\text{цпп}}$, допоміжного $N_{\text{вг}}$ або синхронного $N_{\text{сг}}$ генераторів, збудника $N_{\text{збуд}}$:

$$N_{\text{доп}} = N_{\text{вх}} + N_{\text{ком}} + N_{\text{в.тед}} + N_{\text{вг}} + N_{\text{збуд}}; \quad (5.17)$$

$$N_{\text{доп}} = N_{\text{вх}} + N_{\text{ком}} + N_{\text{цпп}} + N_{\text{сг}} + N_{\text{збуд}}. \quad (5.18)$$

Залежності потужності кожного з цих приводів необхідно привести до одного загального аргументу.

К.к.д. передачі тепловоза можна визначати по відношенню загального к.к.д. тепловоза $\eta_{\text{т}}$ і ефективного к.к.д. дизеля $\eta_{\text{е}}$:

$$\eta_{\text{п}} = \frac{\eta_{\text{т}}}{\eta_{\text{е}}}. \quad (5.19)$$

5.2.2. Коефіцієнт корисної дії електродвигуна

К.к.д. тягового електропривода, віднесений до обіду колеса, визначається за к.к.д. зубчастієї передачі (редуктора) $\eta_{\text{зп}}$, к.к.д. моторно-осьових підшипників $\eta_{\text{моп}}$ і к.к.д. тягового електродвигуна $\eta_{\text{тед}}$:

$$\eta_{\text{д}} = \eta_{\text{тед}} \eta_{\text{зп}} \eta_{\text{моп}}. \quad (5.20)$$

К.к.д. тягового електродвигуна визначається за формулою:

$$\eta_{\text{тед}} = \frac{M_{\text{тед}} \omega_{\text{тед}}}{I_{\text{д}} U_{\text{д}}}, \quad (5.21)$$

де $M_{\text{тед}}$ – крутний момент на валу тягового електродвигуна, Н·м;

$\omega_{\text{тед}}$ – кутова швидкість обертання вала тягового електродвигуна, рад/с;

$I_{\text{д}}$ – струм тягового електродвигуна, А;

$U_{\text{д}}$ – напруга на затискачах тягового електродвигуна, В.

Якщо к.к.д. тягового електродвигуна визначати за частотою обертання вала $n_{\text{тед}}$, хв^{-1} , то формула (5.21) набуває вигляду:

$$\eta_{\text{тед}} = \frac{9,55 \cdot M_{\text{тед}} n_{\text{тед}}}{I_{\text{д}} U_{\text{д}}}. \quad (5.22)$$

У тому випадку, коли враховують втрати енергії при сковзанні колеса тепловоза по рейці, значення к.к.д. "колесо-рейка" $\eta_{\text{кр}}$ приймають в залежності від умов робіт рівним 0,98...0,95 (більше значення за сухі та менше за мокрі брудні рейки). Тоді

$$\eta_{\text{д}} = \eta_{\text{тед}} \eta_{\text{зп}} \eta_{\text{моп}} \eta_{\text{кр}}. \quad (5.23)$$

5.3. Розрахунок витрати палива під час роботи дизеля на холостому ході

5.3.1. Витрата палива на холостому ході

Витрата палива під час роботи дизеля без навантаження на тяговий генератор, тобто при роботі дизеля на холостому ході, визначається у разі руху тепловоза в режимі вибігу або пневматичного гальмування та під час простою тепловоза в гарячому стані за формулою:

$$G = \sum_{j=1}^{n_j} g_{xj} \Delta T_j, \quad (5.24)$$

яка являє собою другий доданок формул (5.2) – (5.5).

Питомі витрати палива на холостому ході g_x визначаються за табл. 5.2 – 5.3, а також за діаграмами додатка Г. Частота обертання вала дизеля $n_{\text{д}}$ залежно від позиції контролера машиніста приймається за табл. 5.4 – 5.5.

Таблиця 5.2

Витрата палива під час роботи дизелів на холостому ходу

Серія тепловоза, тип дизеля	Увімкнення допоміжних агрегатів	Витрата палива, кг/год, для позиції контролера машиніста							
		0; 1	2	3	4	5	6	7	8
ТЕМ2, ПД1М	—	6,8	6,8	7,5	9,4	12,3	16,2	20,2	25,8
ТЕМ7 2-2Д49	вентилятор і компресор увімкнені	22,5							
	вентилятор вимкнений компресор увімкнений	20,5							
	вентилятор і компресор увімкнені	13,0							

Таблиця 5.3

**Витрата палива під час роботи дизеля K6S310DR
тепловоза ЧМЕЗ на холостому ходу**

Позиція контролера машиніста, $n_{\text{км}}$									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
витрата палива g_x , кг/год									
10,2	10,2	10,2	10,2	12,1	12,7	13,8	14,3	15,5	16,4
Позиція контролера машиніста, $n_{\text{км}}$									
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
витрата палива g_x , кг/год									
18,3	20,2	21,4	23,2	25,1	26,8	27,8	29,6	31,4	34,5

Таблиця 5.4

Частота обертання колінчастого вала дизелів ПД1М, К6S310ДР, 2-2Д49 за позиціями контролера машиніста

Серія тепловоза і тип двигуна	Частота обертання колінчастого вала, хв^{-1} , на позиції контролера машиніста							
	0, 1	2	3	4	5	6	7	8
ТЕМ2 ПД1М	300	300	330	400	480	570	650	750
ЧМЕ3 К6S310ДР	350	380	420	460	510	560	660	750
ТЕМ7 2-2Д49	350	445	535	630	720	815	910	1000

Таблиця 5.5

Частота обертання колінчастого вала дизеля К6S310ДР тепловоза ЧМЕ3М

Позиція контролера машиніста, $n_{\text{км}}$									
0, 1	2	3	4	5	6	7	8	9	100
частота обертання колінчастого вала $n_{\text{д}}, \text{хв}^{-1}$									
350	350	350	350	400	415	440	450	475	495
Позиція контролера машиніста, $n_{\text{км}}$									
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
частота обертання колінчастого вала $n_{\text{д}}, \text{хв}^{-1}$									
530	565	585	615	645	670	685	710	735	775

5.3.2. Витрата палива на холостому ході з урахуванням роботи головного вентилятора

Робота на холостому ходу на ділянці вибігу під час насуву состава на сортувальну горку та під час витягування з парку формування в парк відправлення визначається з урахуванням часу роботи головного вентилятора холодильника. Робота компресора не враховується. Відносний час роботи головного вентилятора холодильника $T_{\text{вент}}^{\circ}$ приймати в залежності від максимального значення позиції контролера машиніста $n_{\text{км}}$, яка була застосована в даній операції в режимі тяги, що передувало вибігу з роботою дизеля на холостому ходу.

У залежності від кількості позицій контролера машиніста на тепловозі, цей час визначається за формулами:

$$T_{\text{вент}}^{\circ} = 0,1n_{\text{км}} \text{ за } n_{\text{км max}} = 8; \quad (5.25)$$

$$T_{\text{вент}}^{\circ} = 0,05n_{\text{км}} \text{ за } n_{\text{км max}} = 16; \quad (5.26)$$

$$T_{\text{вент}}^{\circ} = 0,04n_{\text{км}} \text{ за } n_{\text{км max}} = 20. \quad (5.27)$$

Витрата палива на холостому ходу g'_x , кг/год, в цьому випадку визначається відповідно за формулами у разі:

– восьмипозиційному контролері

$$g'_x = 0,1n_{\text{км}}g_x^{\text{вент}} + (1 - 0,1n_{\text{км}})g_x; \quad (5.28)$$

– шістнадцятипозиційному контролері

$$g'_x = 0,05n_{\text{км}}g_x^{\text{вент}} + (1 - 0,05n_{\text{км}})g_x; \quad (5.29)$$

– двадцятипозиційному контролері

$$g'_x = 0,04n_{\text{км}}g_x^{\text{вент}} + (1 - 0,04n_{\text{км}})g_x, \quad (5.30)$$

де $g_x^{\text{вент}}$ – витрата палива на холостому ходу при увімкненому вентиляторі холодильника, кг/год.

5.3.3. Витрата палива на холостому ході за час простою тепловоза у гарячому стані

Витрата палива на холостому ходу за час простою тепловоза в гарячому стані визначається залежно від температури зовнішнього повітря. За температурах вище -15°C приймається витрата g_x за $n_{\text{км}} = 0$, за температурах нижче -15°C приймається g_x за $n_{\text{км}} = 5$.

У разі розрахунку норм витрати палива в конкретних умовах значення $n_{\text{км}}$ приймають за досвідом роботи.

У тому випадку, якщо відсутні спеціальні розпорядження по залізниці про режими роботи дизелів на стоянках, що враховують специфіку місцевих умов, витрати пального на холосту роботу дизелів можна приймати за табл. 5.6.

Таблиця 5.6

Швидкість (частота) обертання колінчастих валів дизелів та відповідні витрати палива на холостому ході

Серія тепловоза	Швидкість обертання колінчастого валу $n_{дз}$, рад/с ($хв^{-1}$)	Питома витрата палива g_x кг/хв одним дизелем (на одну секцію тепловоза)
TEM2; TEM2У	31,4 (300)	0,11
TEM7	41,9 (400)	0,375
ЧМЕЗ	36,7 (350)	0,15
ЧМЕЗМ	36,7 (350)	0,17
2TE116	36,7 (350)	0,25
2TE10 В/і	41,9 (400)	0,38

5.3.4. Витрата палива в режимі електричного гальмування

Витрата палива в режимі електричного гальмування визначається за часом цього гальмування та залежностями витрати за одиницю часу $g_{ег}$ від середніх значень сили $B_{г.е.сер}$ та швидкості $v_{сер}$ за час гальмування.

Залежності $g_{ег} = f(B_{г.е.сер})$ або $g_{ег} = f(v_{сер})$ визначаються за досвідченими даними для конкретної серії локомотива та типу електричних гальм.

Запитання для самоконтролю

1. Для яких режимів визначається витрата палива?
2. Особливості визначення витрати палива у режимі тяги та на холостому ході.
3. Яким чином визначаються питомі витрати палива?
4. Від яких параметрів залежать потужність на клеммах генератора?
5. Визначення к.к.д. передачі та тягового електродвигуна.
6. Врахування роботи головного генератора на витрату палива.

Список літератури

1. Бобирь Д. В., Грищенко М. А., Сердюк В. Н. Теорія локомотивної тяги : підручник / за ред. к-та техн. наук, доц. В. Н. Сердюка. Дніпро : УДУНТ; ННІ «Дніпров. ін-т інфраструктури і трансп.», 2022. 386 с.
2. Бобирь Д. В., Капіца М. І., Сердюк В. Н. Теорія локомотивної тяги. Тягові розрахунки для промислового залізничного транспорту: навч. посіб. / за ред. д-ра техн. наук, проф. М. І. Капіци. Дніпро, УДУНТ; ННІ «Дніпров. ін-т інфраструктури і трансп.», 2022. 113 с.
3. ДСТУ 2582:2017. Машини електричні тягові, що обертаються. Загальні технічні умови (ГОСТ 2582-2013, IDT; ІЕС 60349-1:2010, NEQ; ІЕС 60349-2:2010, NEQ) [Чинний від 2017-03-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. 50 с.

Предметний покажчик

Автоматичне пневматичне
гальмо рухомого складу, [5](#)

Вага локомотива зчіпна, [6](#)
вибіг, [5](#)

витрата палива, [90](#)

витрата палива в режимі
електричного гальмування,
[101](#)

витрата палива на холостому
ході, [97](#)

витрати потужності на привід
допоміжних агрегатів, [95](#)

відносний час роботи
головного вентилятора
холодильника, [98](#)

Гальмівна сила, [25](#)

гальмівна сила електричних
гальм, [26](#)

гальмівна сила пневматичних
гальм локомотива, [25](#)

гальмівний коефіцієнт, [33](#)

гальмівний шлях, [35](#)

гальмо рухомого складу
автоматичне пневматичне,
[5](#)

гальмо рухомого складу
електропневматичне, [6](#)

гальмо рухомого складу
магнітнорейкове, [7](#)

гальмо рухомого складу
пневматичне, [9](#)

гальмо рухомого складу
стоянкове, [10](#)

гальмо рухомого складу
фрикційне, [11](#)

гальмування, [5](#)

гальмування автостопне, [5](#)

гальмування екстрене, [6](#)

гальмування електричне, [6](#)

гальмування рекуперативне, [9](#)

гальмування реостатне, [9](#)

гальмування службове, [10](#)

голова поїзда (состава), [6](#)

Довжина колії корисна, [7](#)

довжину состава, [48](#)

допустима маса состава, [45](#)

Електровоз, [6](#)

Загальний питомий опір руху,
[24](#)

- зворотний перехід ступеня збудження, [6](#)
зрушення, [6](#)
зрушення умовне, [6](#)
- К.к.д. передачі, [95](#)**
к.к.д. тягового електродвигуна, [95](#)
коефіцієнт зчеплення, [40](#)
коефіцієнт інерції обертальних мас, [50](#)
коефіцієнт корисної дії передачі, [95](#)
коефіцієнт нерівномірності, [86](#)
коефіцієнт тепловіддачі, [87](#)
коефіцієнт тертя, [28](#)
колії тимчасові, [10](#)
кран екстреного гальмування, [7](#)
- Локомотив, [7](#)**
локомотив підштовхуючий, [8](#)
- Максимальна швидкість розгону, [75](#)**
максимальне прискорення, [44](#)
маневровий порядок руху, [7](#)
маса локомотива розрахункова, [9](#)
маса локомотива службова (облікова), [10](#)
мінімальне прискорення, [44](#)
- Напрямок руху, [8](#)**
незгашене відцентрове прискорення у кривій, [21](#)
нерівномірність розподілу струму, [86](#)
- Облікова маса тепловозів, [33](#)**
обмеження гальмівної сили, [27](#)
опір від приведенного ухилу, [24](#)
опір руху від S-образних кривих, [22](#)
опір руху від кривої, [20](#)
опір руху від ухилу, [20](#)
опір руху поїзда, [8](#)
основний питомий опір руху вагонів, [16](#)
основний питомий опір руху маневрових тепловозів, [15](#)
основний питомий опір руху поїзних (магістральних) локомотивів, [16](#)
основні параметри тепловозів, [37](#)
- Перевищення температури, [85](#)**
питома гальмівна сила, [34](#)
питома сила тяги, [41](#)
питомі витрати палива, [92](#)
питомі сили, [77](#)
підйом важкий (швидкісний), [5](#)
підйом розрахунковий, [7](#)

поїзд, [8](#)
поїзний порядок руху, [8](#)
потужність на затискачах
тягового генератора, [93](#)
потужність на клемах
випрямної установки, [94](#)
приведений уклон, [46](#)
протиюзна система, [9](#)
Результуюча сила, [41](#)
розгін, [9](#)
Середня ефективна потужність
дизеля, [92](#)
сила натиснення, [30](#)
сила поздовжня динамічна, [9](#)
сила тяги, [9](#)
сила тяги, [35](#)
сила тяги динамометрична, [9](#)
сила тяги дотична, [10](#)
сила тяги на зчепленні, [10](#)
сила тяги по зчепленню, [10](#)
сила тяги при зрушенні з
місця, [38](#)
спрямлення профілю колії, [46](#)
спуск затяжний, [6](#)
спуск керівний, [7](#)
спуск шкідливий, [11](#)
Температура перегрівання, [83](#)
тепловоз, [10](#)
точність розрахунків, [14](#)
тяга кратна, [7](#)
тяга подвійна, [8](#)
Ухил, [11](#)
ухил керівний, [7](#)
Фіктивний підйом від кривих,
[47](#)
фіктивний підйом від
стрілочних переводів, [47](#)
Хвіст поїзда, [11](#)
холостий хід локомотива, [11](#)
Швидкість конструкційна, [11](#)
швидкість рівноважна, [11](#)
швидкості переходу, [39](#)
шлях гальмівний, [5](#)
шлях розгону, [77](#)

Додаток А Тягові характеристики маневрових локомотивів

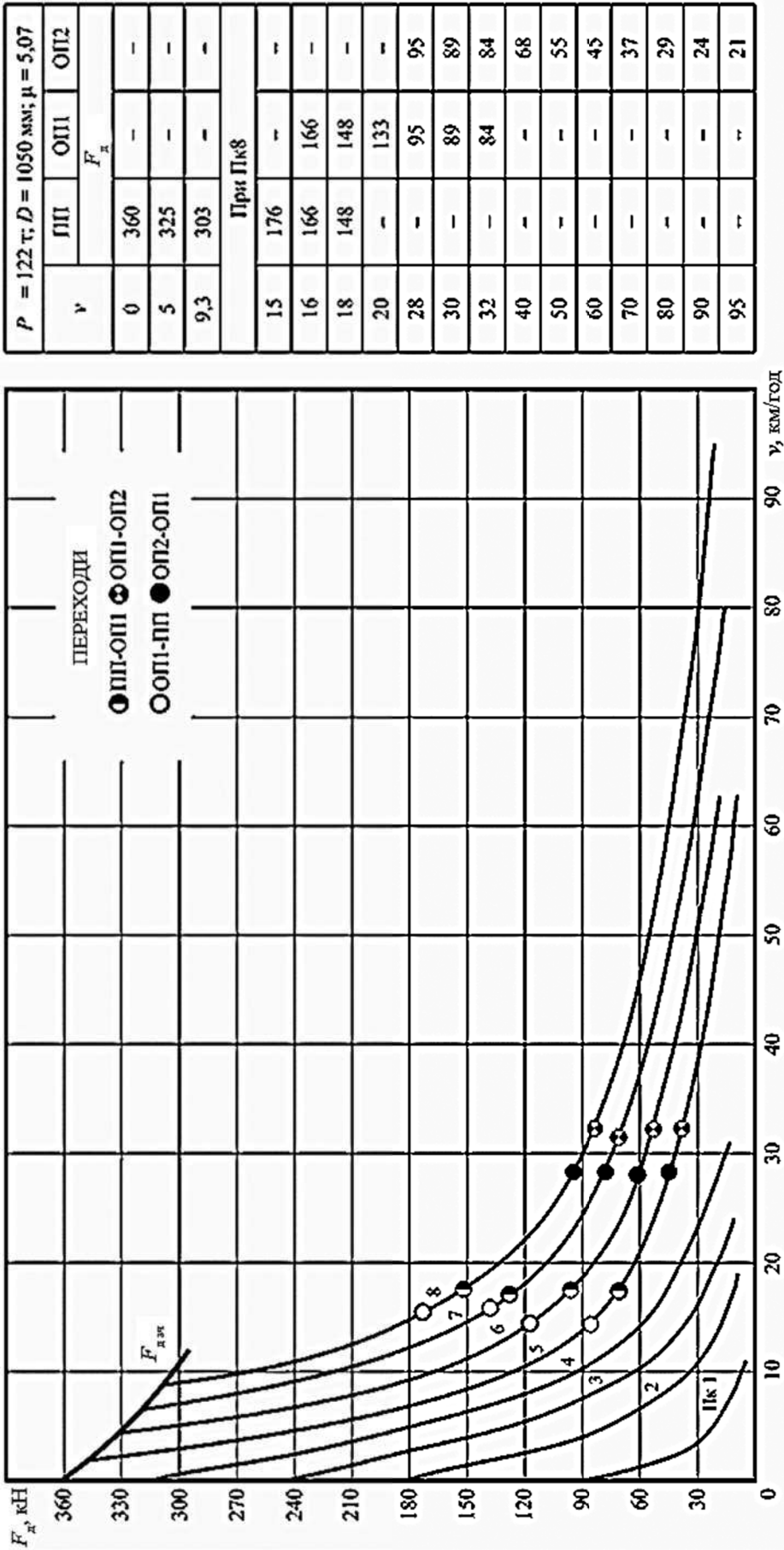


Рис. А.1. Тягова характеристика ЧМЕЗ

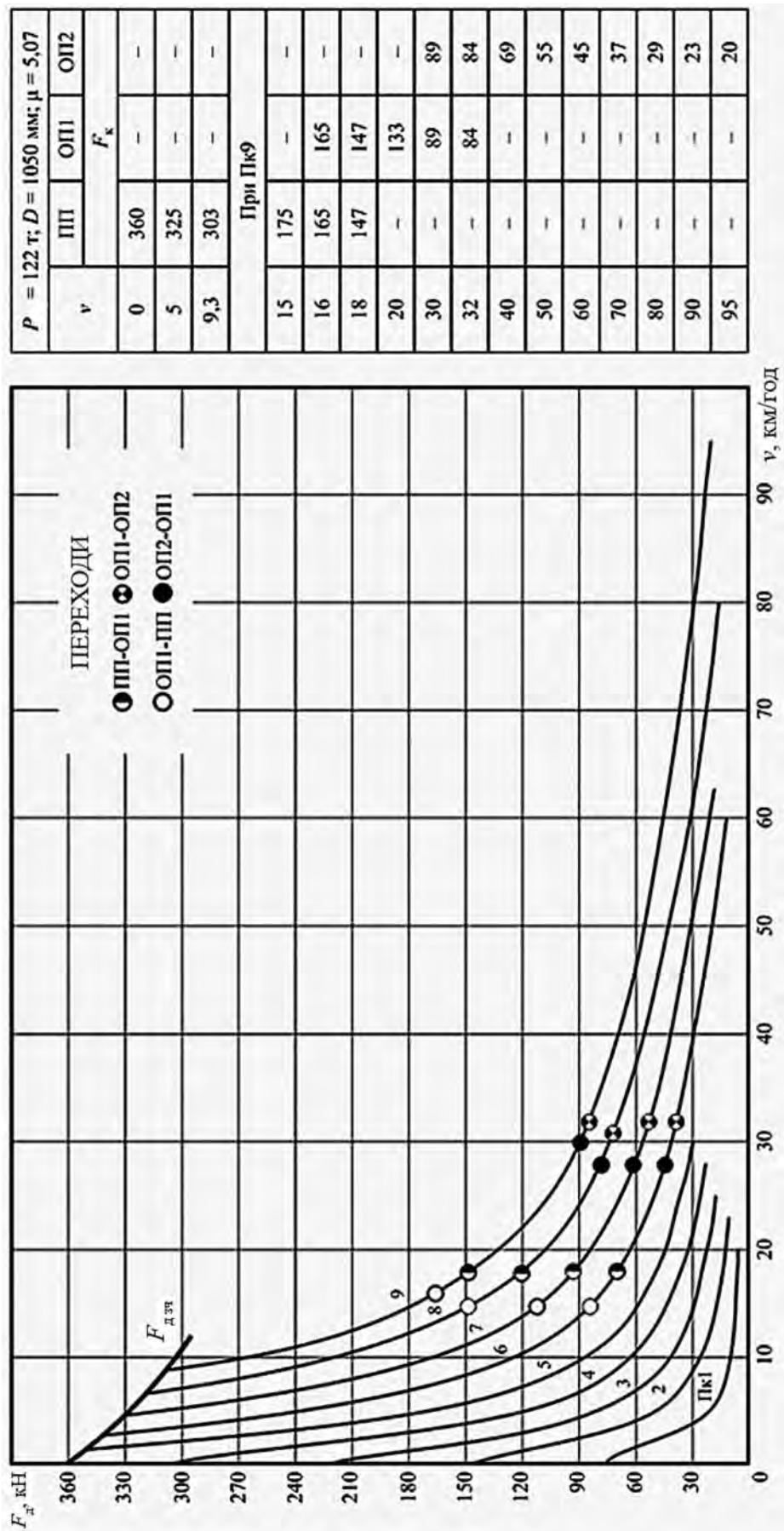


Рис. А.2. Тяговая характеристика ЧМЕЗТ, ЧМЕЗЕ

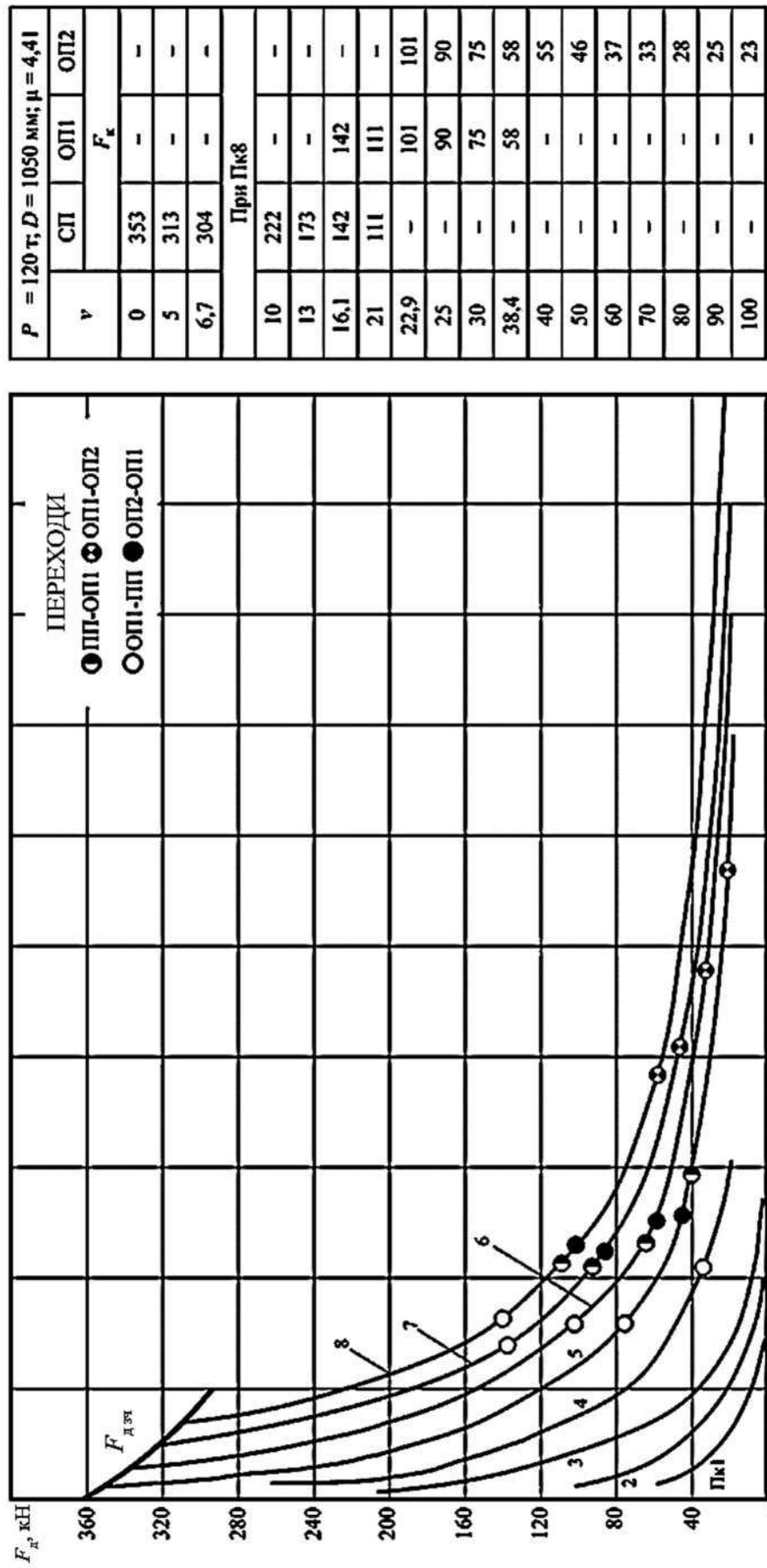


Рис. А.3. Тяговая характеристика ТЕМ2, ТЕМ2У, ТЕМ2УМ, ТЕМ2А

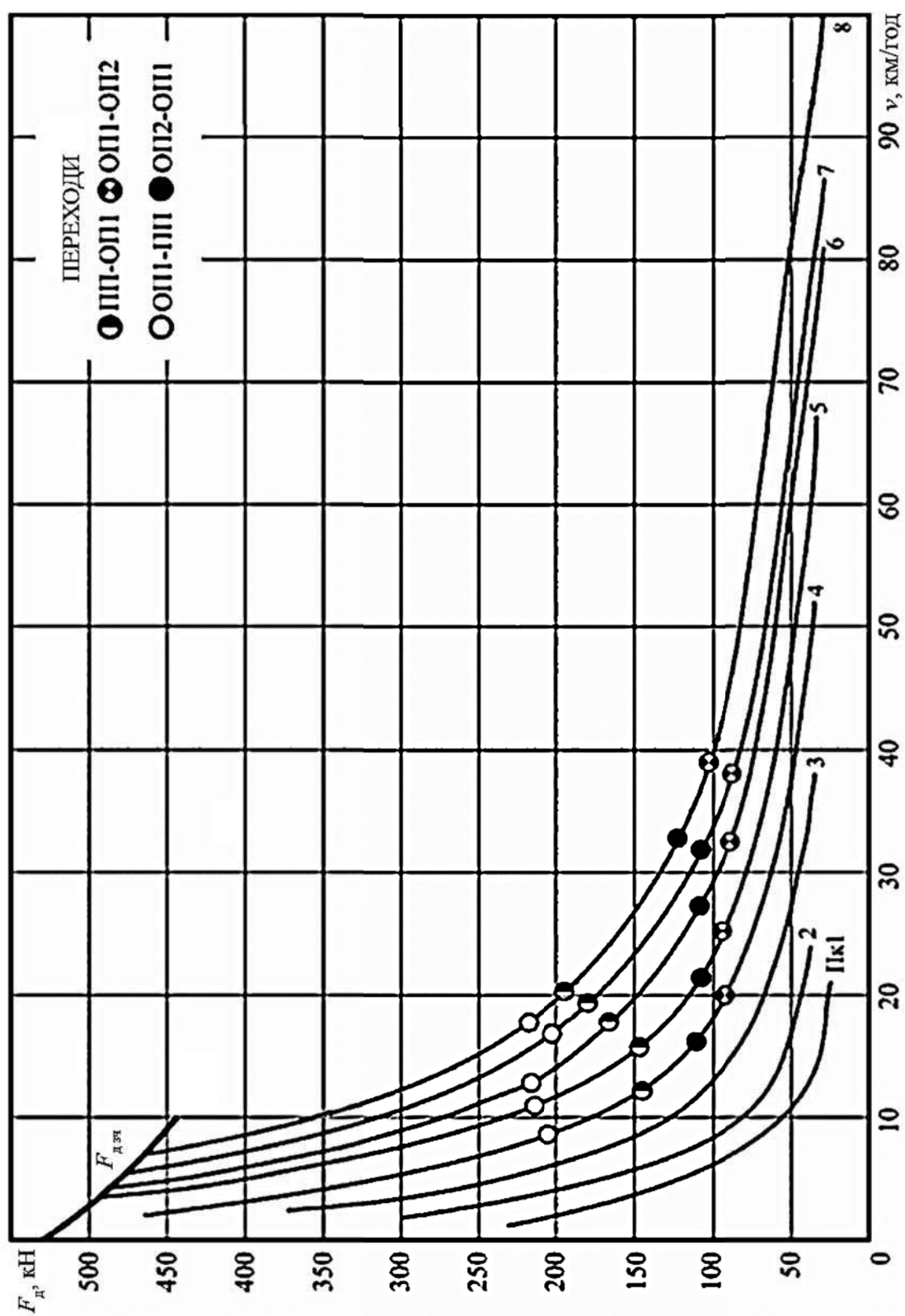


Рис. А.4. Тяговая характеристика ТЕМ7, ТЕМ7А

Додаток Б

Теплові характеристики тягових електричних двигунів

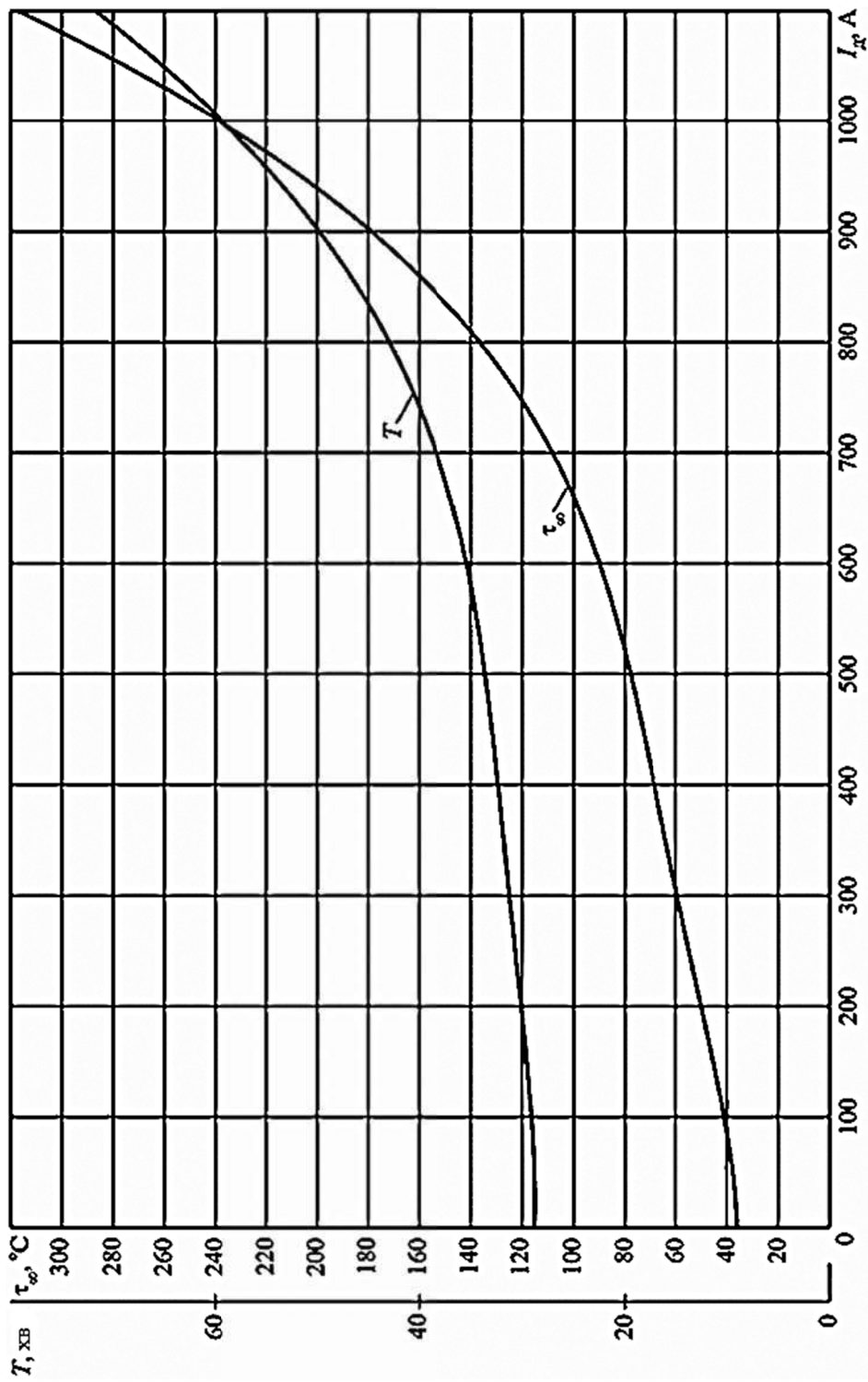


Рис. Б.1. Теплові характеристики тягового електродвигуна ТЕ-006 тепловозів ЧМЕЗ, ЧМЕЗК, ЧМЕЗТ, ЧМЕЗЕ

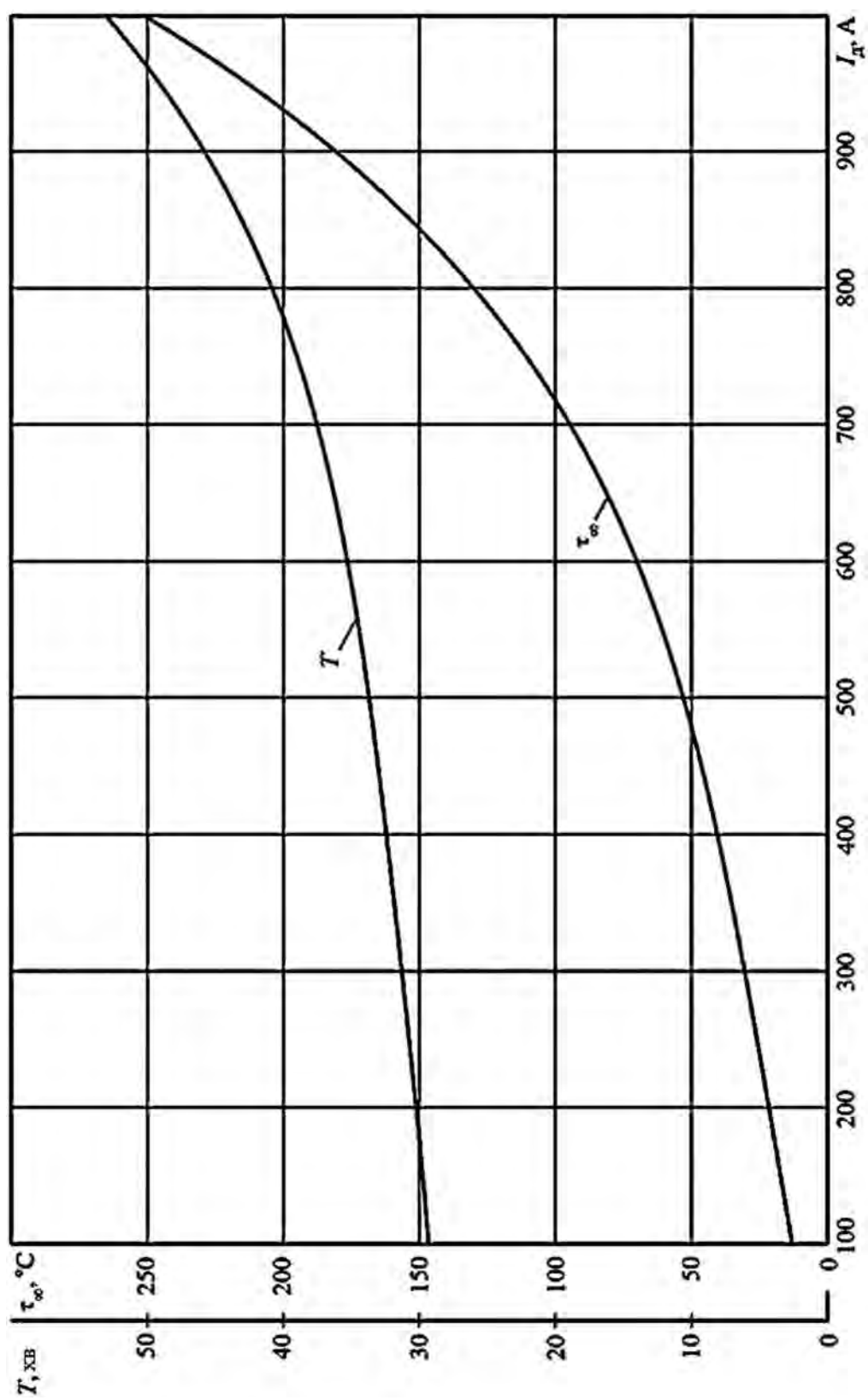


Рис. Б.2. Теплові характеристики тягового електродвигуна ЕД-118А тепловозів ТЕМ2, ТЕМ2А, ТЕМ2К, ТЕМ2У

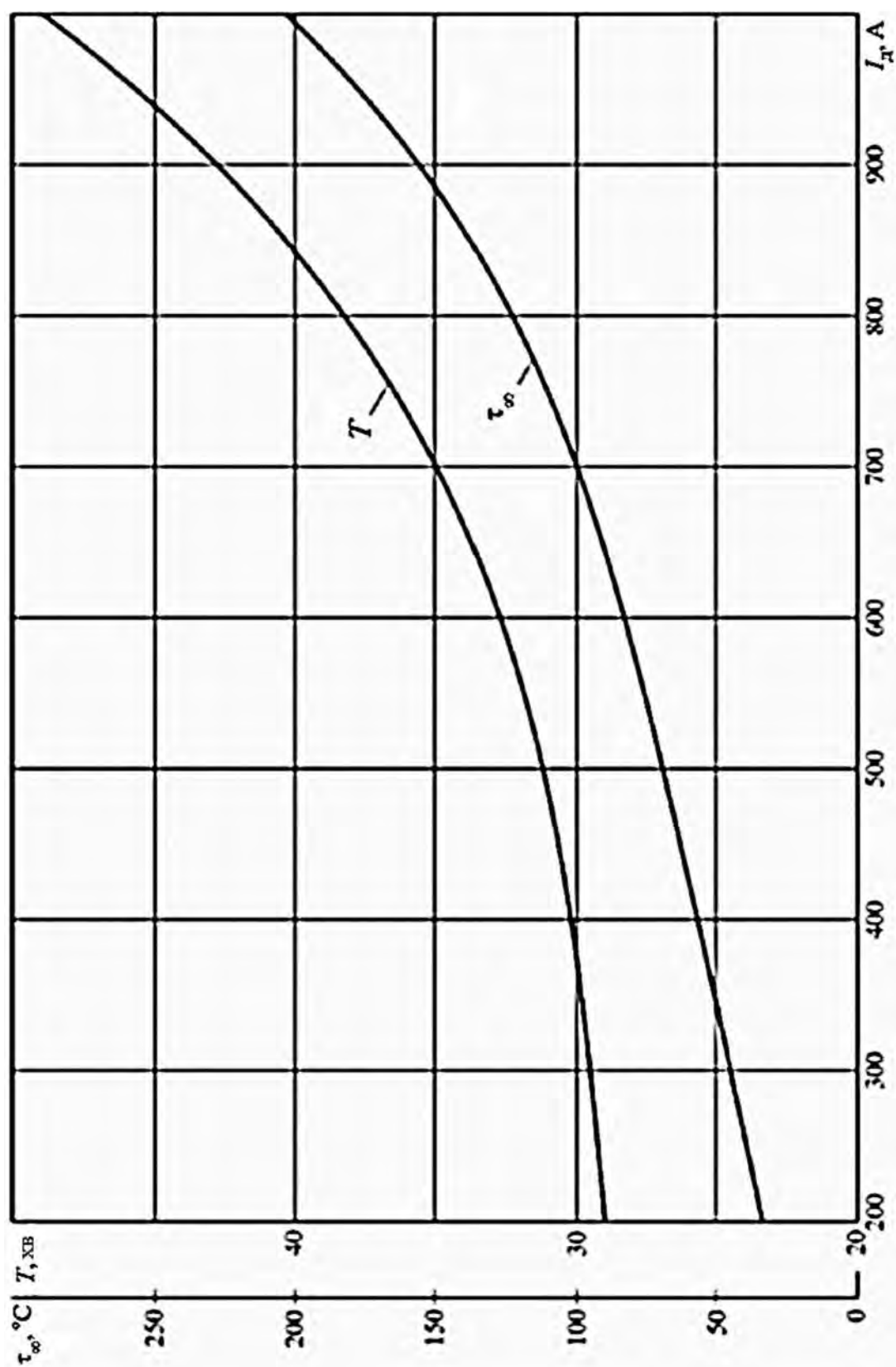


Рис. Б.3. Теплові характеристики тягового електродвигуна ЕДУ-118 тепловоза ТЕМ7

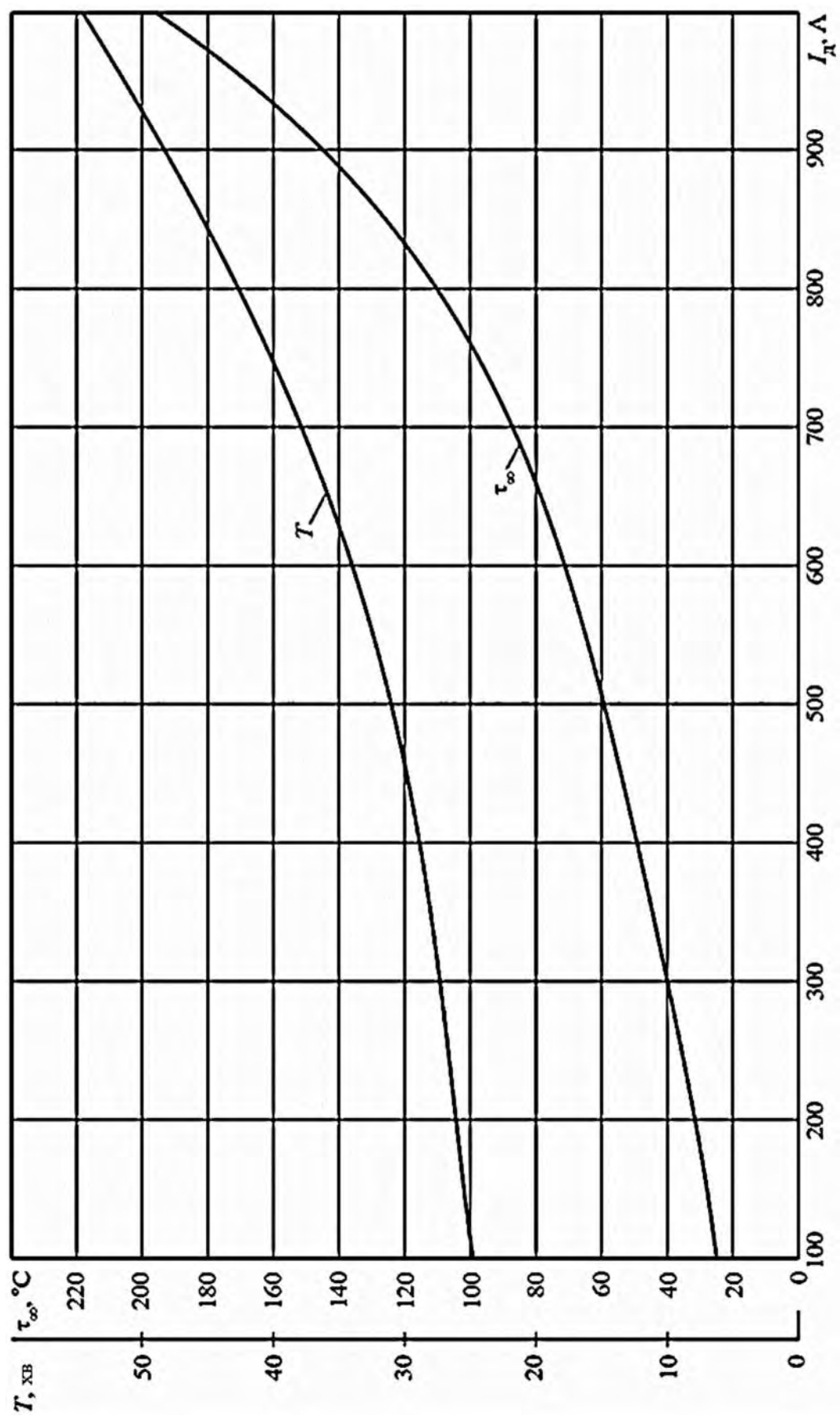


Рис. Б.4. Теплові характеристики тягового електродвигуна ЕДУ-133 тепловоза ТЕМ7, ТЕМ7А

Додаток В

Струмові характеристики тепловозів

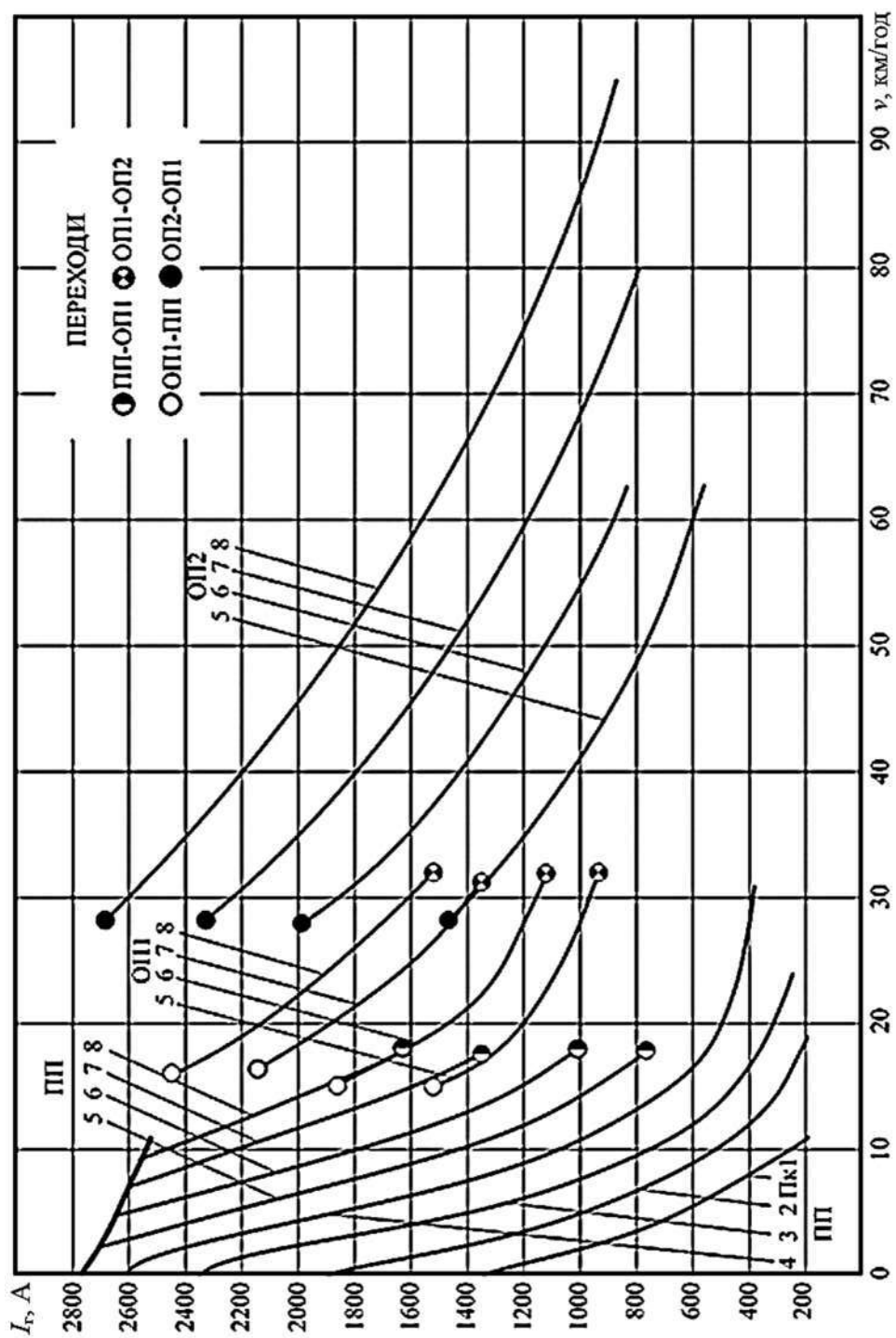


Рис. В.1. Струм генератора тепловоза ЧМЕЗ

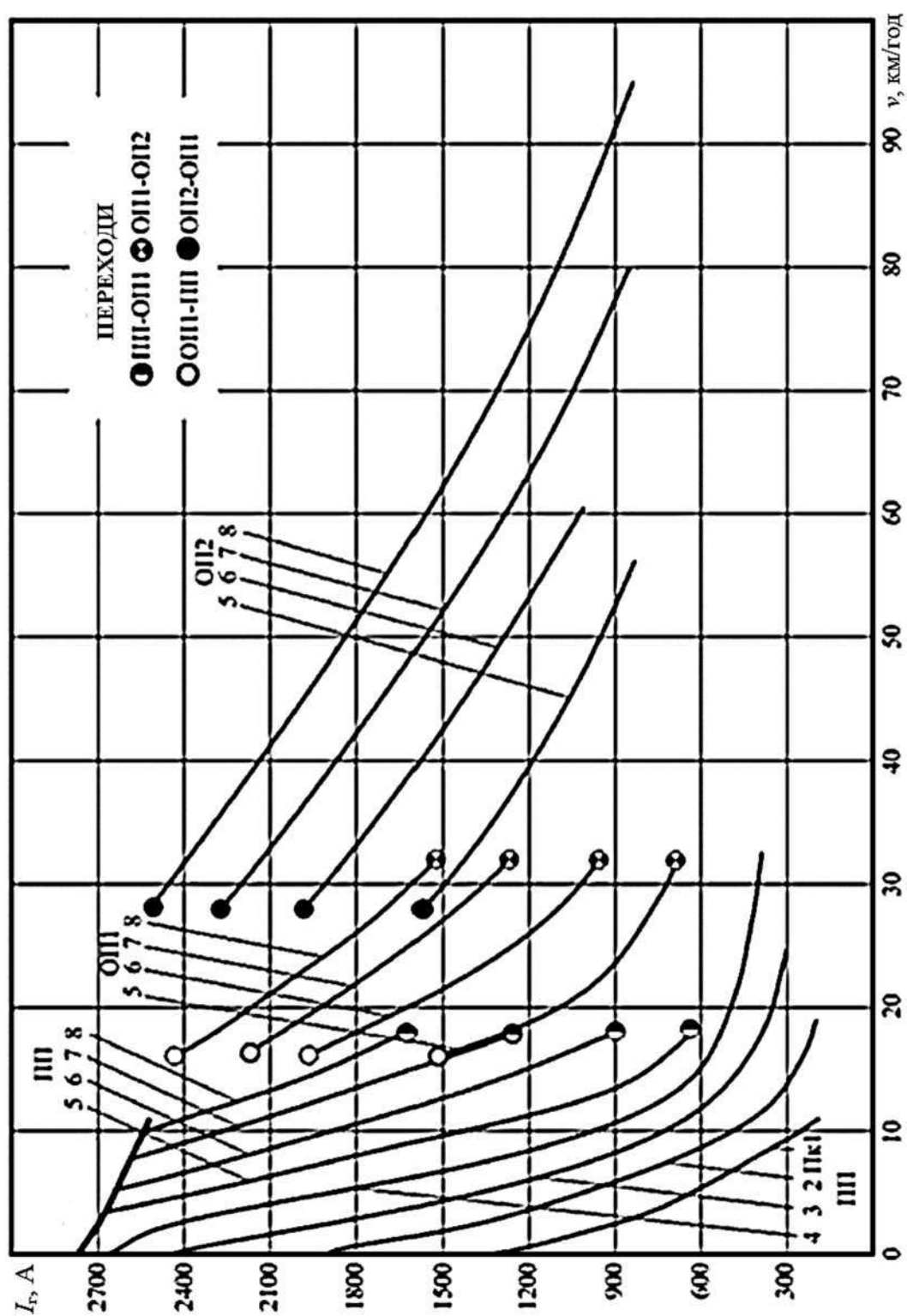


Рис. В.2. Струм генератора тепловоза ЧМЕЗК

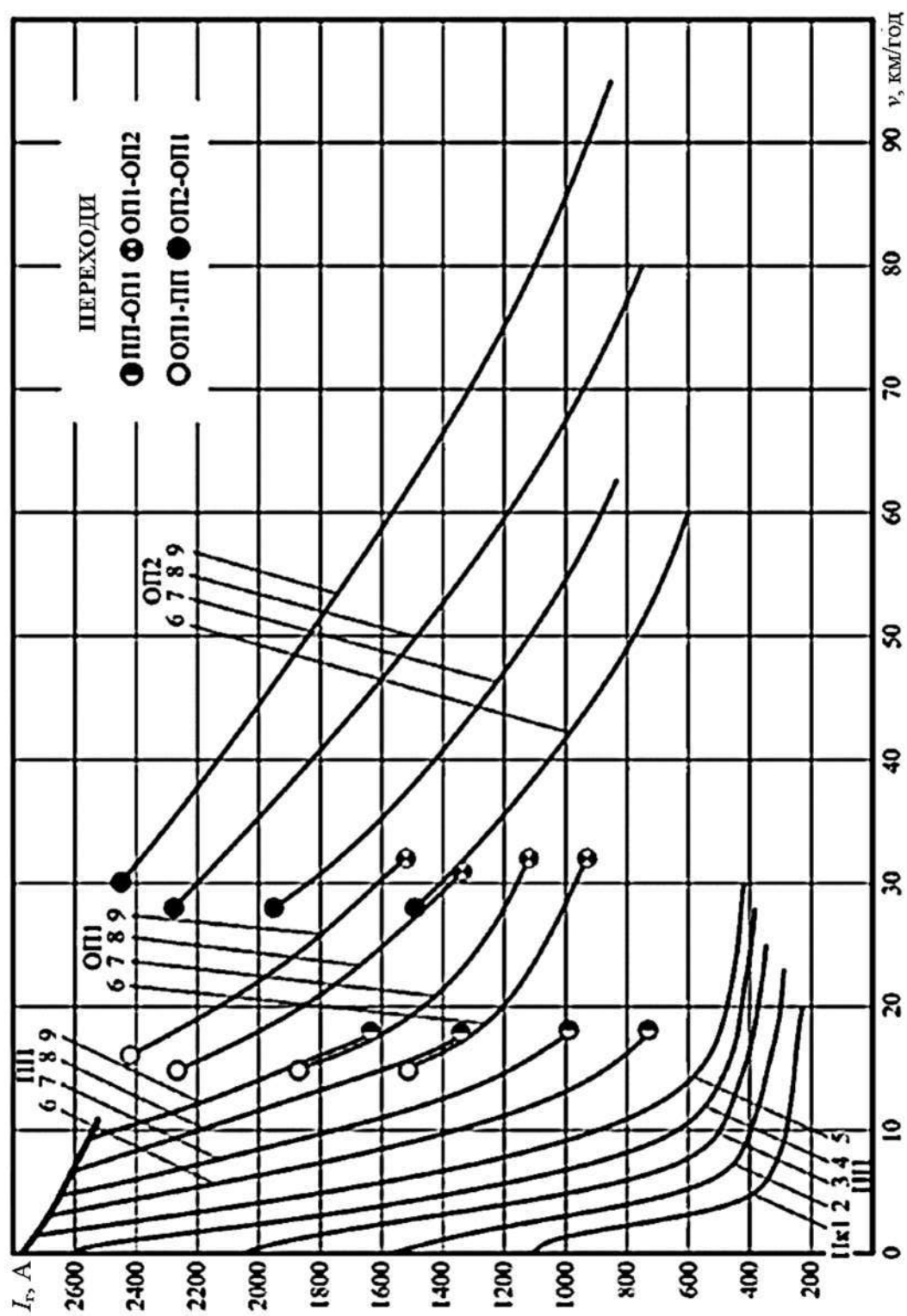


Рис. В.3. Струм генератора тепловоза ЧМЕЗЕ, ЧМЕЗТ

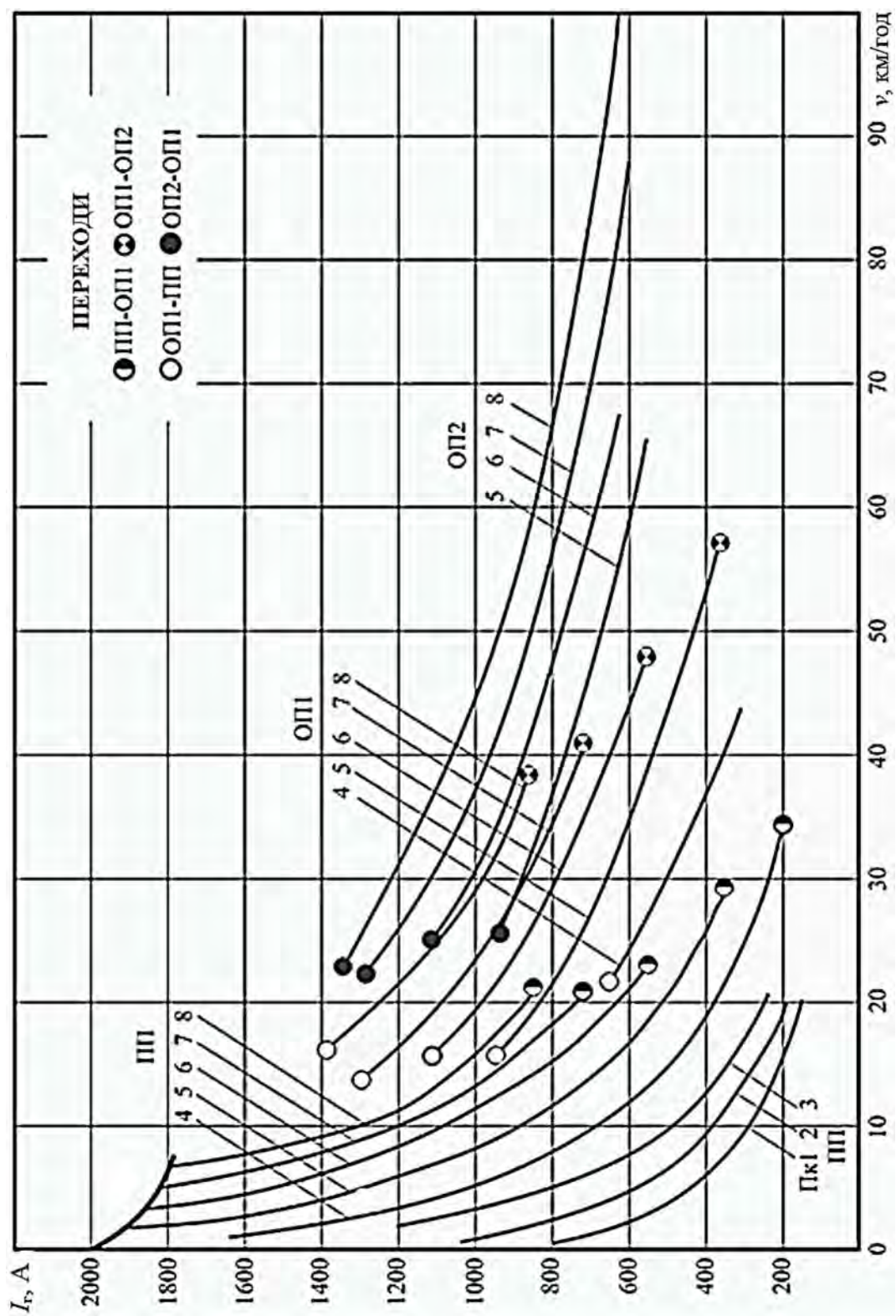


Рис. В.4. Струм генератора тепловоза ТЕМ2, ТЕМ2У, ТЕМ2УМ, ТЕМ2А, ТЕМ2К

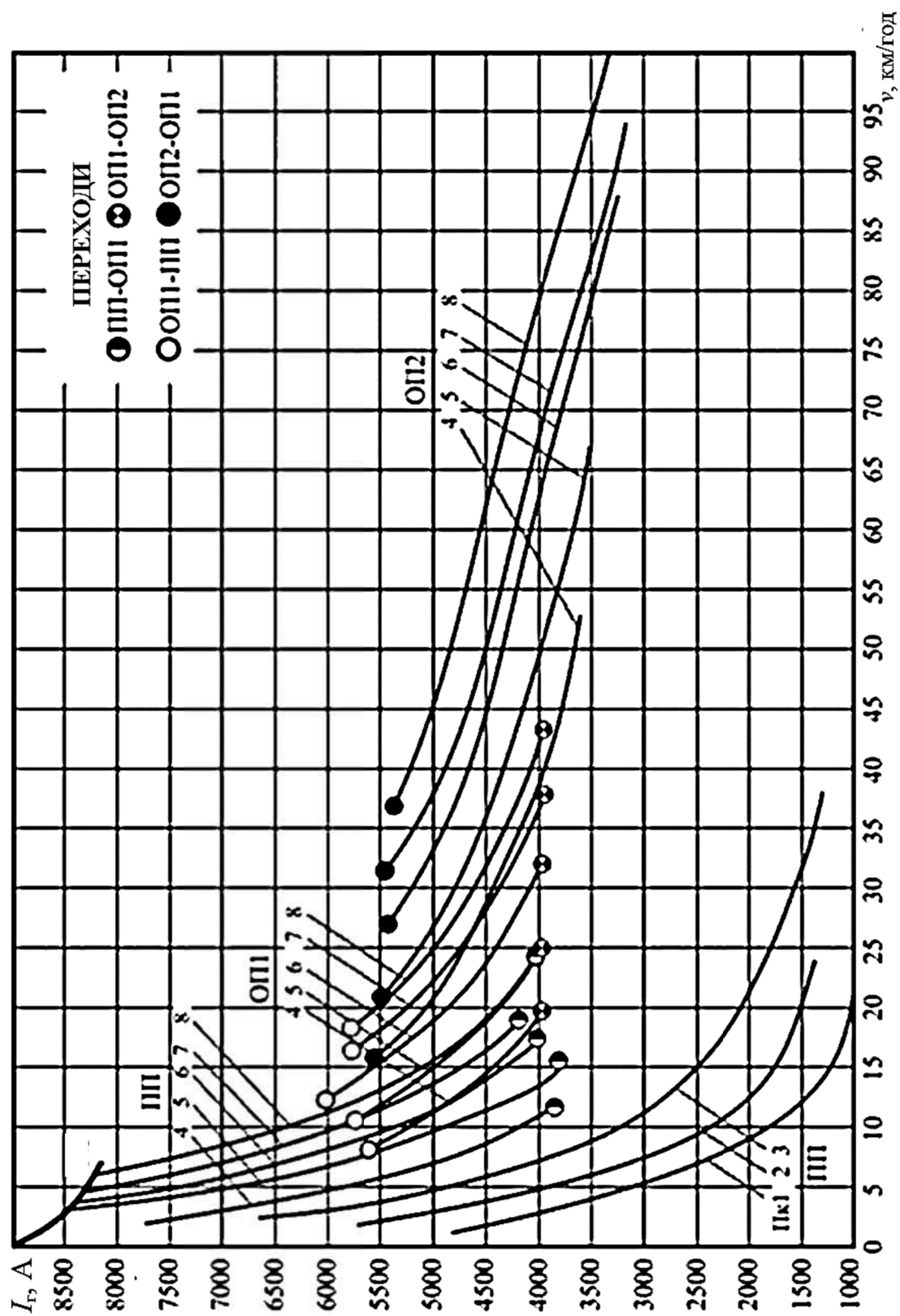


Рис. В.5. Струм генератора тепловоза ТЕМ7

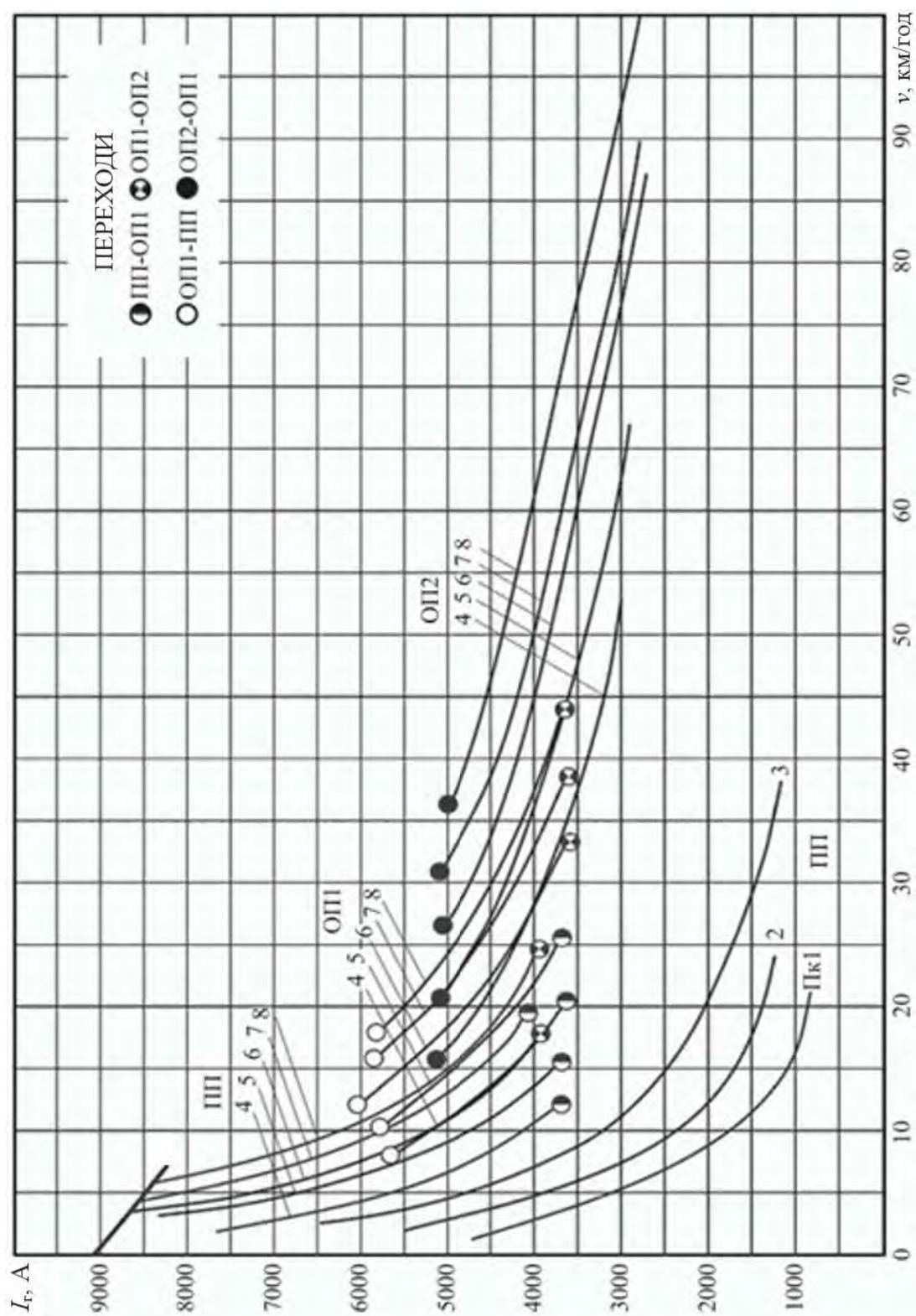


Рис. В.6. Струм генератора тепловоза ТЕМ7А

Додаток Г Витрати палива маневровими тепловозами

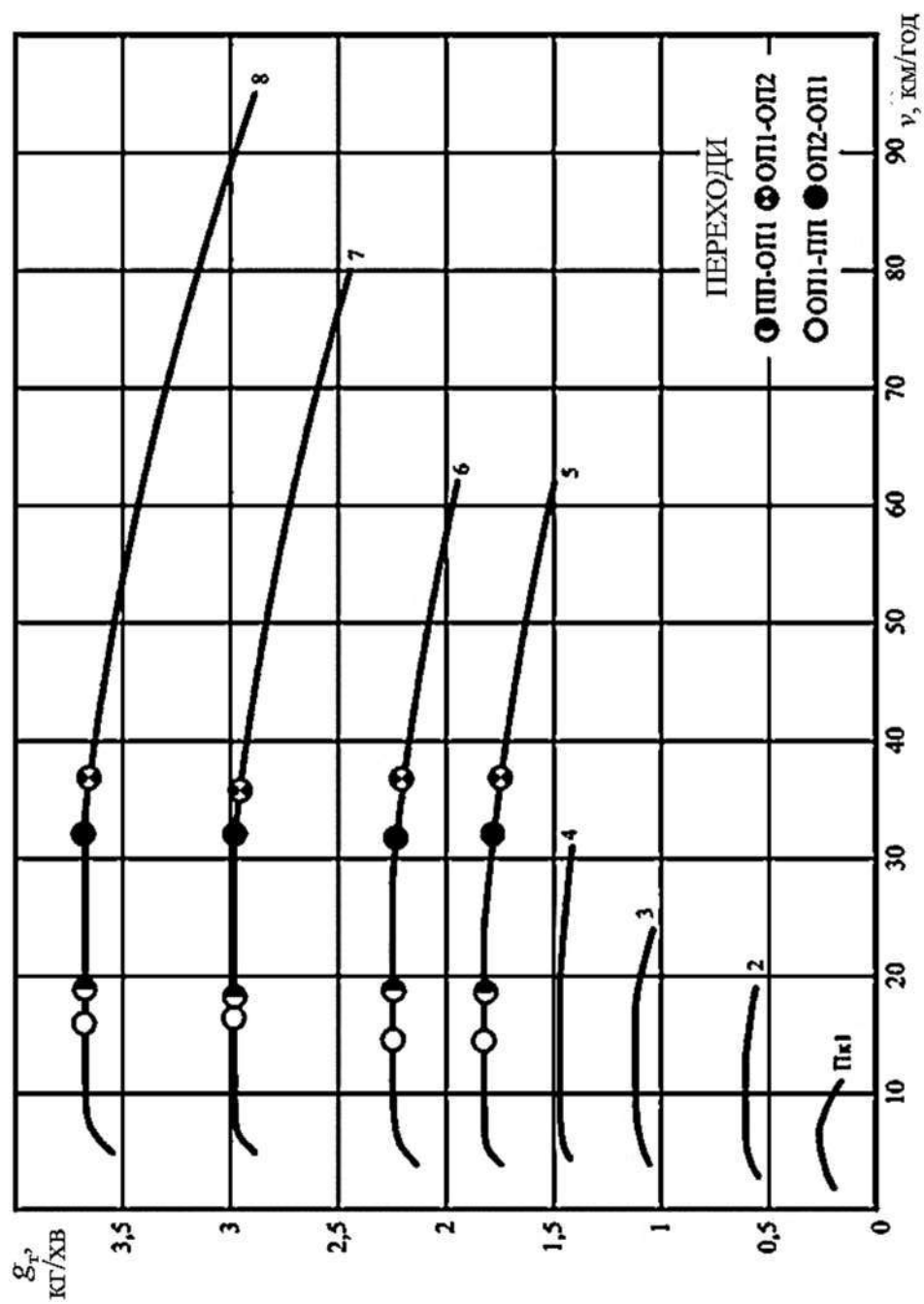


Рис. Г.1. Витрата палива в режимі тяги тепловозом ЧМЕЗ

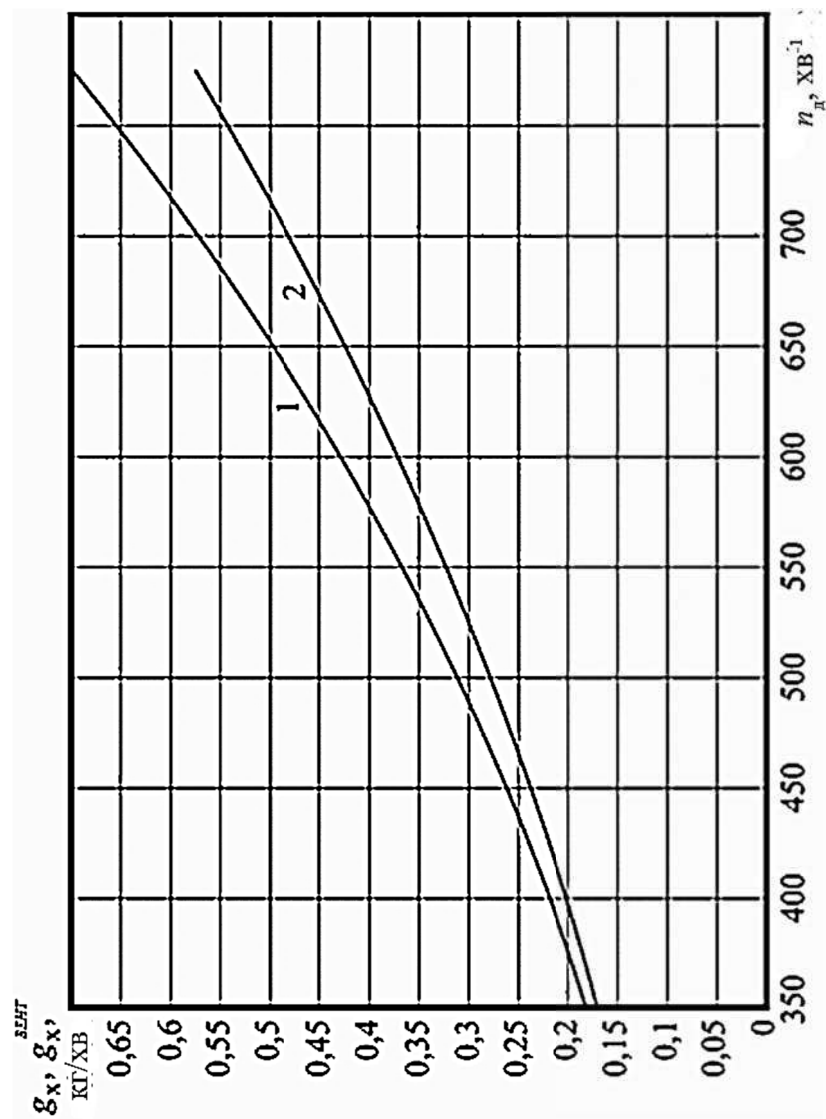


Рис. Г.2. Витрата палива на холостому ходу тепловозом ЧМЕЗ:

1 – вентилятор увімкнений; 2 – вентилятор вимкнений

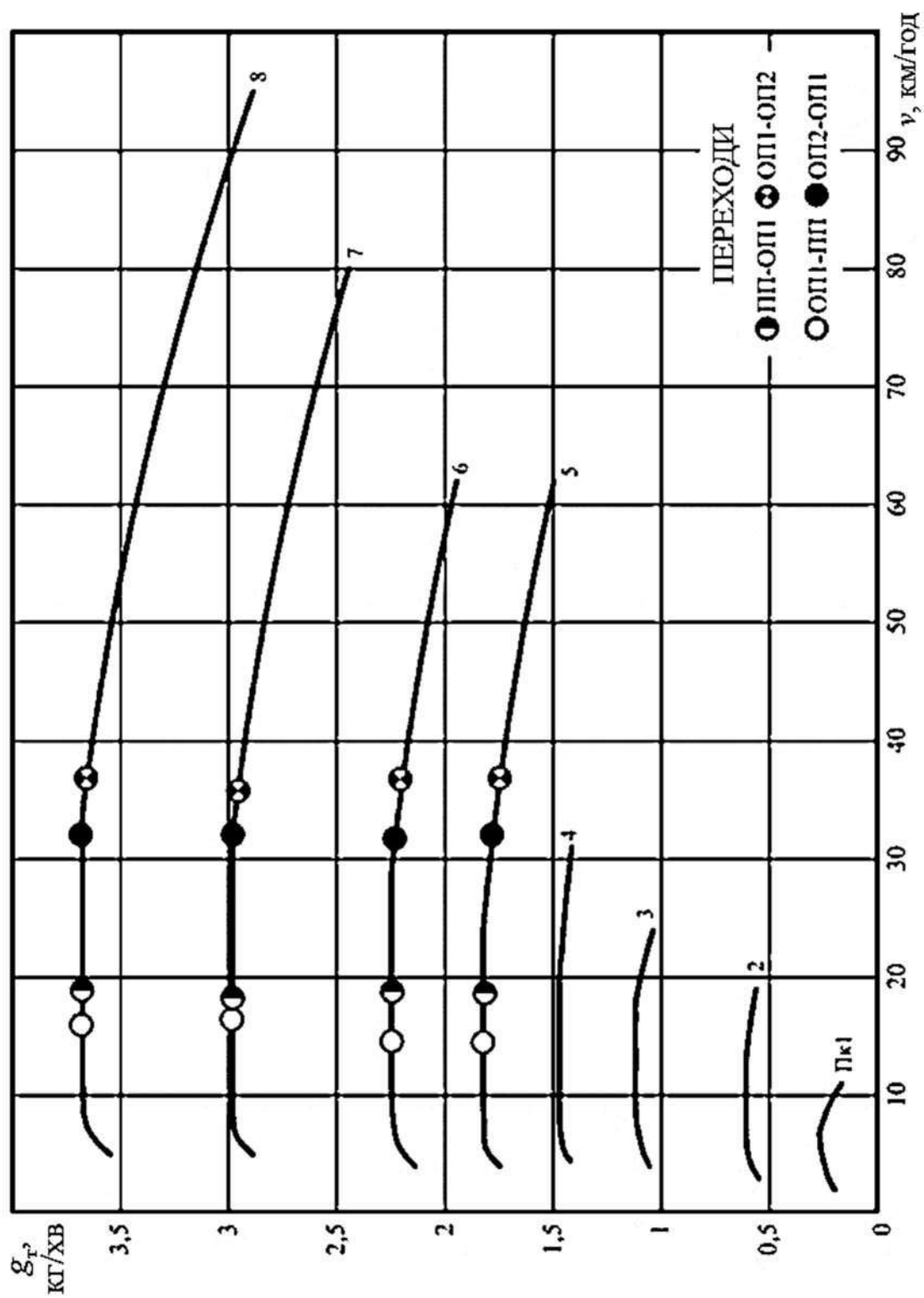


Рис. Г.3. Витрата палива в режимі тяги тепловозом ЧМЕЗК

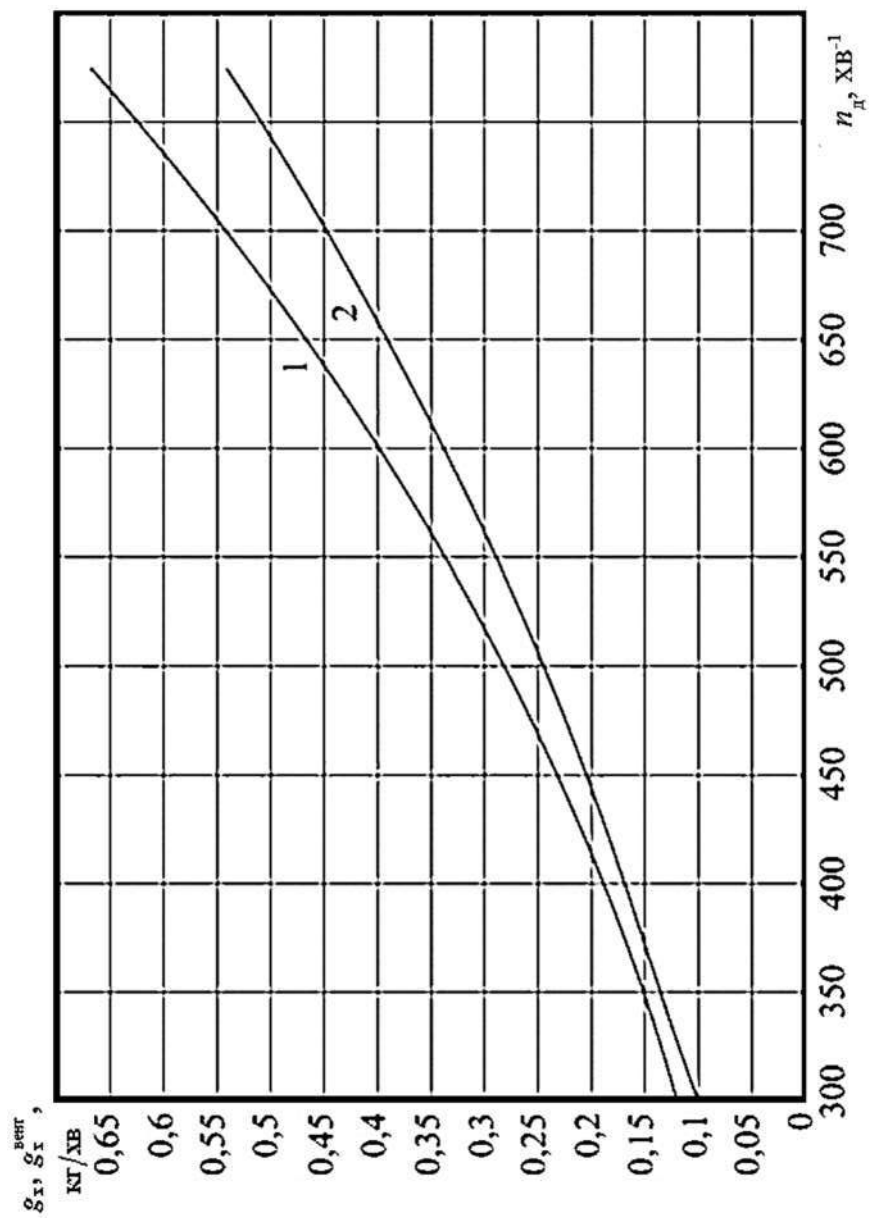


Рис. Г.4. Витрата палива на холостому ходу тепловозом ЧМЕЗК:

1 – вентилятор увімкнений; 2 – вентилятор вимкнений

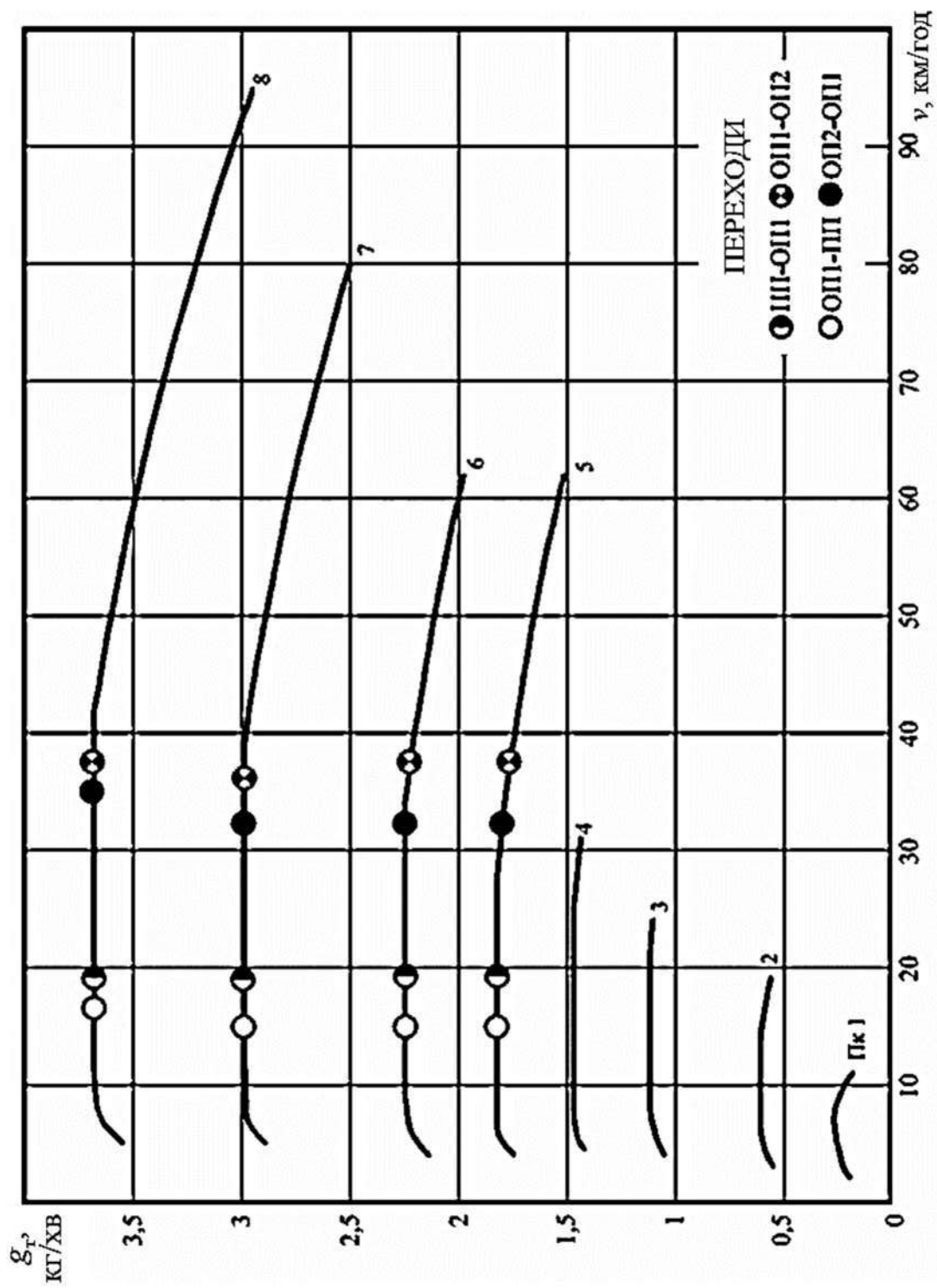


Рис. Г.5. Витрата палива в режимі тяги тепловозом ЧМЕЗТ, ЧМЕЗЕ

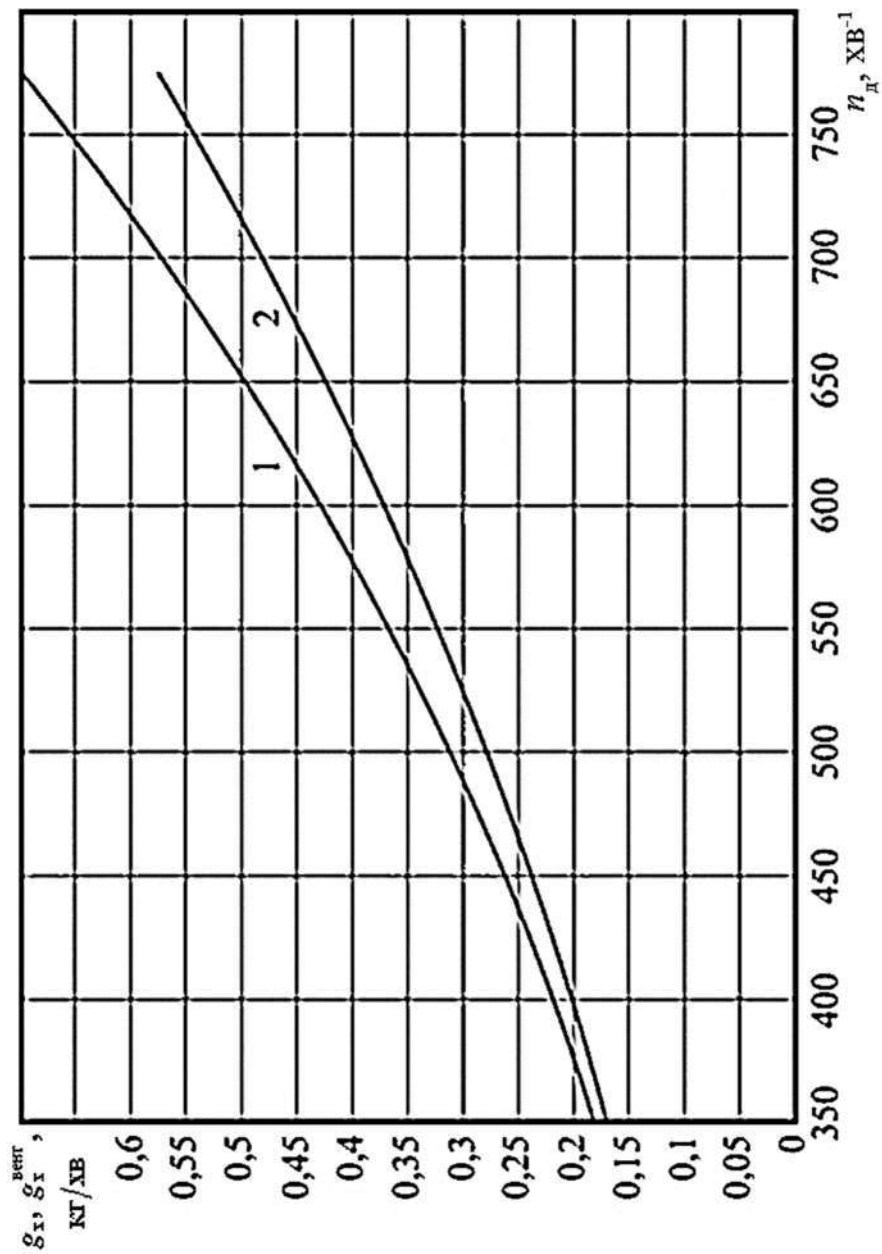


Рис. Г.6. Витрата палива на холостому ходу тепловозом ЧМЕЗТ, ЧМЕЗЕ:

1 – вентилятори увімкнені; 2 – вентилятори вимкнені

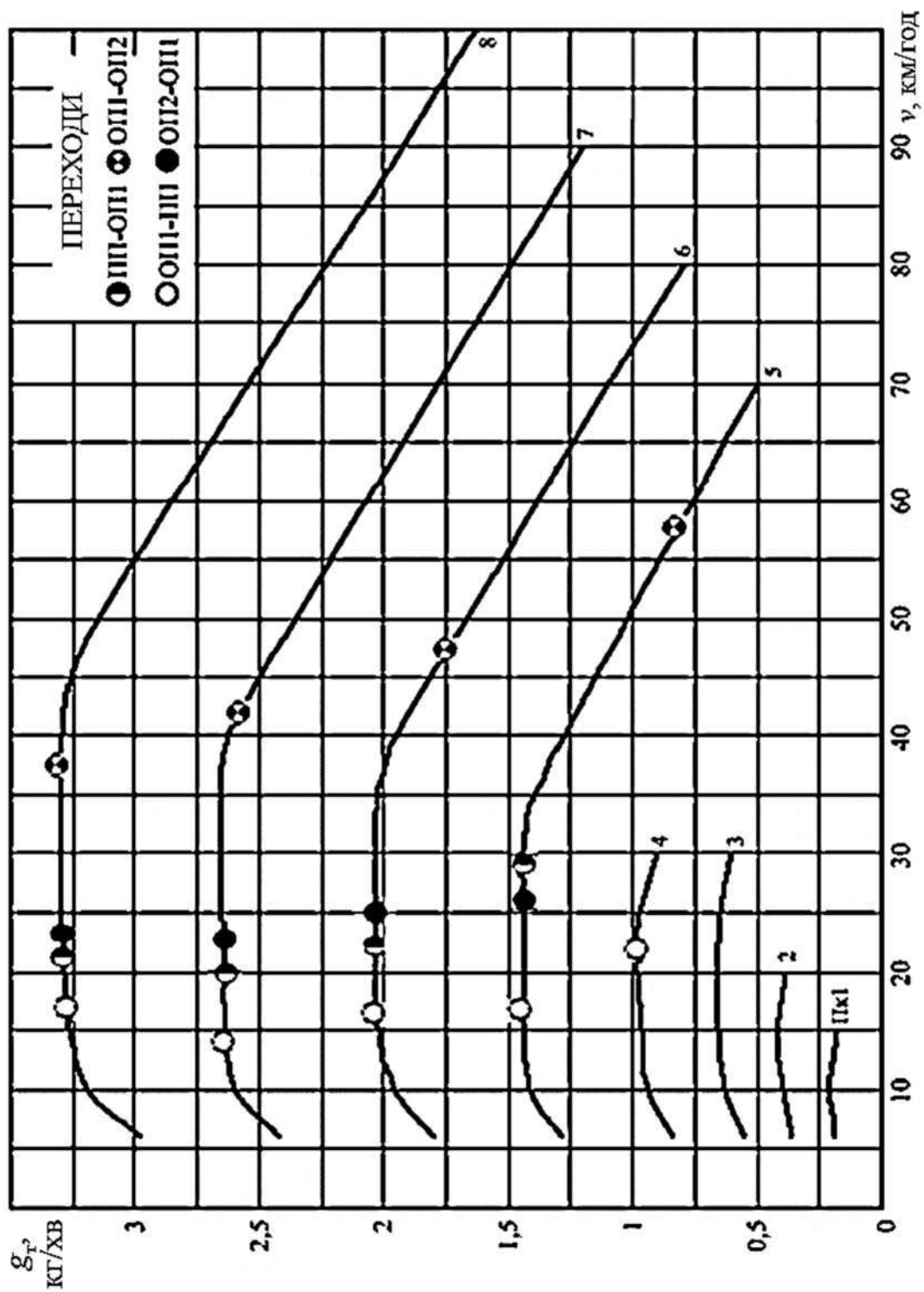


Рис. Г.7. Витрата палива в режимі тяги тепловозом TEM2, TEM2A, TEM2K, TEM2У

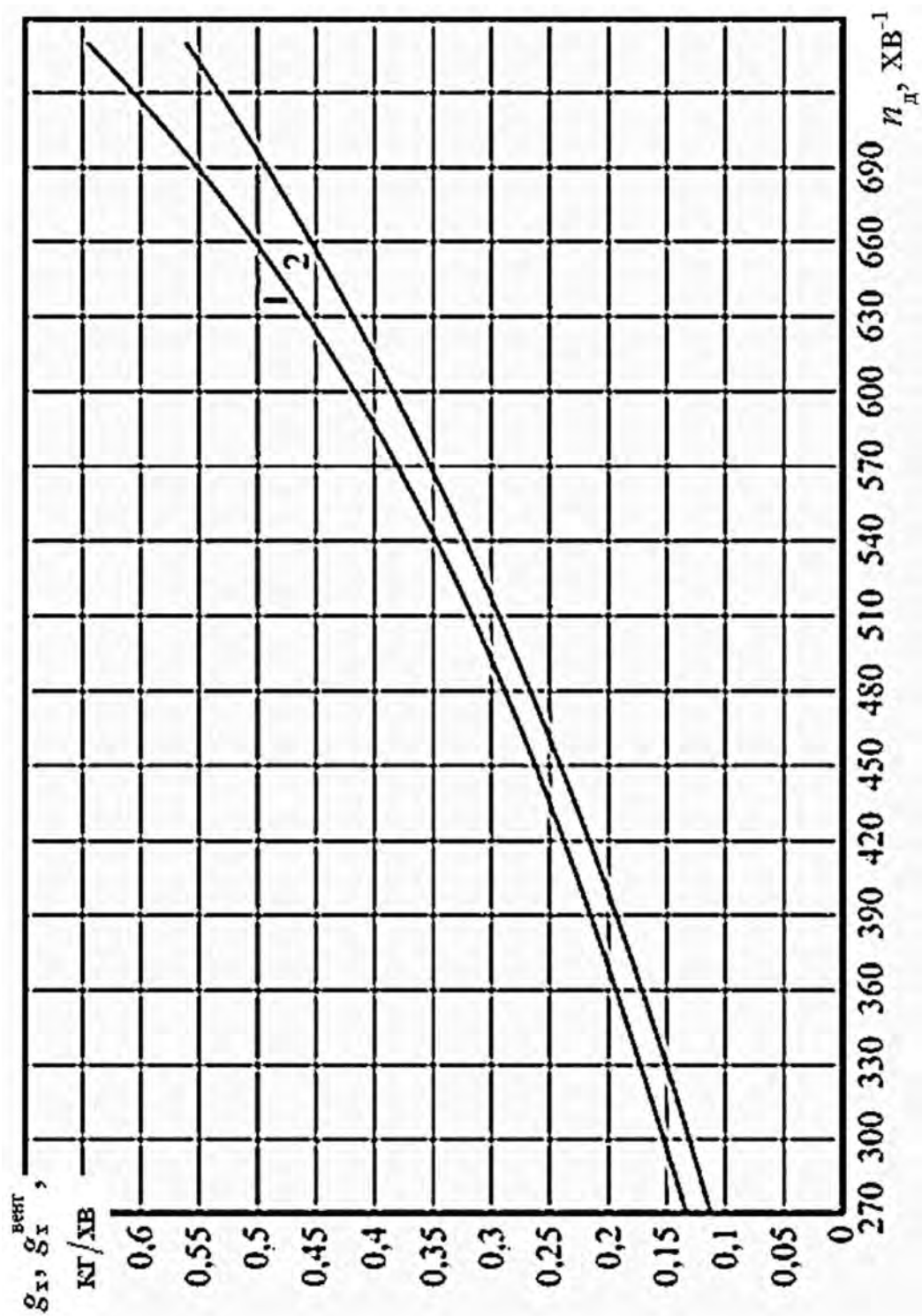


Рис. Г.8. Витрата палива на холостому ходу тепловозом ТЕМ2, ТЕМ2А, ТЕМ2К, ТЕМ2У:

1 – вентилятори увімкнені; 2 – вентилятори вимкнені

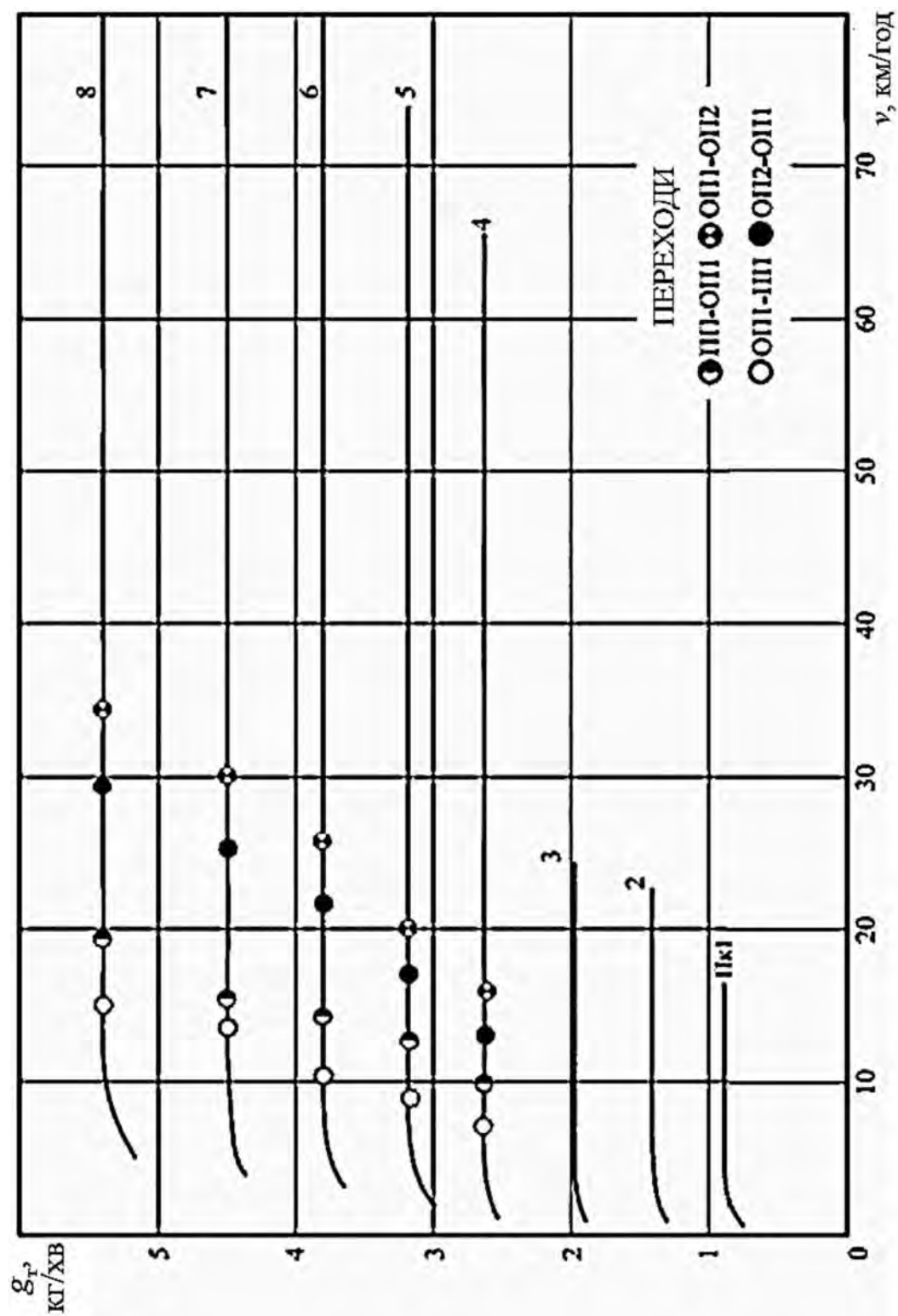


Рис. Г.9. Витрата палива в режимі тяги тепловозом ТЕМ7, ТЕМ7А

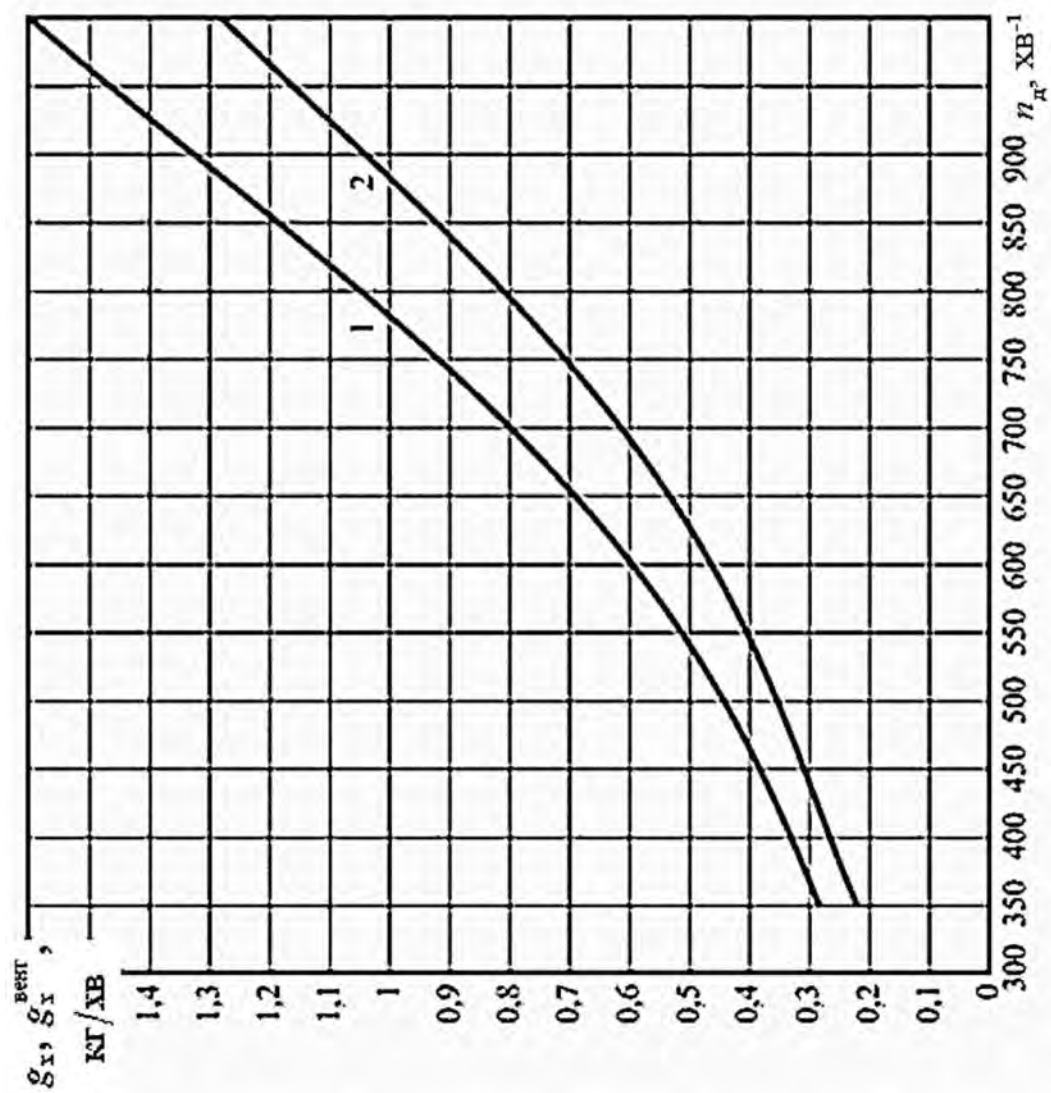


Рис. Г.10. Витрата палива на холостому ходу тепловозом ТЕМ7, ТЕМ7А:

1 – вентилятори увімкнені; 2 – вентилятори вимкнені

Навчальне видання

Бобирь Дмитро Валерійович, **Білоконь** Ірина Миколаївна,
Очкасов Олександр Борисович, **Сердюк** Володимир Никандрович

ТЕОРІЯ ЛОКОМОТИВНОЇ ТЯГИ. ТЯГОВІ РОЗРАХУНКИ ДЛЯ МАНЕВРОВОЇ РОБОТИ

Навчальний посібник

Відповідальний редактор В. Н. Сердюк
Комп'ютерна верстка Д. В. Бобирь
Дизайн обкладинки Є. Б. Боднар

Видавець: Український державний університет науки і технологій
вул. Лазаряна, 2, ауд. 263, м. Дніпро, 49010.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022

Надруковано: Друкарня ТОВ підприємство «Дріант»
просп. С. Нігояна, 55, м. Дніпро.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6593 від 28.01.2019

