

БОБІРЬ Д. В., КАПІЦА М. І., СЕРДЮК В. Н.

ТЕОРІЯ ЛОКОМОТИВНОЇ ТЯГИ ТЯГОВІ РОЗРАХУНКИ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК



ДНІПРО
2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Д. В. Бобирь, М. І. Капіца, В. Н. Сердюк

Теорія локомотивної тяги.
Тягові розрахунки для промислового
залізничного транспорту

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

ДНІПРО
2022

УДК 629.421.016.12
Б 72

Авторський колектив:
Бобирь Д. В., Капіца М. І., Сердюк В. Н.

Рекомендовано вченою радою
Українського державного університету науки і технологій
як навчальний посібник
(протокол № 3 від «07» лютого 2022 р.)

Бобирь Д. В., Капіца М. І., Сердюк В. Н.

Б 72 Теорія локомотивної тяги. Тягові розрахунки для промислового залізничного транспорту: навчальний посібник / Д. В. Бобирь, М. І. Капіца, В. Н. Сердюк; за ред. д-ра техн. наук, проф. М. І. Капіци; Укр. держ. ун-т науки і технологій, Навч.-наук. ін-т «Дніпров. ін-т інфраструктури і трансп.». – Дніпро, 2022. – 113 с.

ISBN 978-966-2394-62-7

У навчальному посібнику викладено методику тягових розрахунків для промислового залізничного транспорту.

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

Іл. 11, табл. 36, бібліогр. 8 назв.

УДК 629.421.016.12



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 978-966-2394-62-7

© Бобирь Д. В., Капіца М. І., Сердюк В. Н., 2022
© Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2022

UDC 629.421.016.12
B 69

Writing Team:
Boby D. V., Kapitsa M. I., Serdiuk V. N.

Recommended by the Academic Council
of the Ukrainian State University of Science and Technology
as a manual
(*Protocol No. 3 of February 07, 2022*)

Boby D. V., Kapitsa M. I., Serdiuk V. N.

B 69 Theory of locomotive traction. Traction calculations for industrial railway transport: manual / D. V. Bobyr, M. I. Kapitsa, V. N. Serdiuk; ed by. Dr. Tech. Sciences, Prof. M. I. Kapitsa; Ukr. State Univ. of Science and Technologies, Educational and Scientific Institute “Dnipro Institute of Infrastructure and Transport». – Dnipro, 2022. – 113 p.

ISBN 978-966-2394-62-7

The manual describes the method of traction calculations for industrial railway transport.

It is intended for mastering the educational component "Theory of Locomotive Traction" and diploma designing in the specialty 273 "Railway Transport" for Professional Educational Program “Locomotives and Locomotive Economy.”

Il. 11, tab. 36, bibliogr. 8.

UDC 629.421.016.12



This work is licensed under Creative Commons License
[«Attribution-NonCommercial-ShareAlike» 4.0 International \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

ISBN 978-966-2394-62-7

© Bobyr D. V., Kapitsa M. I., Serdiuk V. N., 2022
© Ukr. State Univ. of Science and Technologies, 2022

ЗМІСТ

ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ	5
ВСТУП	11
ГЛАВА 1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДЛЯ ТЯГОВИХ РОЗРАХУНКІВ ПРОМИСЛОВОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ	14
1.1. Область застосування та загальні положення.....	14
1.2. Особливості тягових розрахунків для вантажних поїздів на тепловозній та електричній тязі	18
ГЛАВА 2. ОСНОВНИЙ ПИТОМИЙ ОПІР РУХУ ПОЇЗДА.....	20
ГЛАВА 3. ДОДАТКОВІ ПИТОМІ ОПОРУ РУХУ ПОЇЗДА	28
3.1. Додатковий питомий опір руху від ухилу.....	28
3.2. Додатковий питомий опір руху поїзда від кривої.....	28
3.3. Додатковий питомий опір руху поїзда при низькій температурі зовнішнього повітря.....	31
3.4. Додатковий питомий опір руху поїзда від зустрічного та бічного вітру	32
3.5. Додатковий питомий опір у разі руху поїзда вагонами вперед	33
3.6. Додатковий питомий опір в залежності від стану колії	33
ГЛАВА 4. ПОВНИЙ ОПІР РУХУ ПОЇЗДА	35
ГЛАВА 5. ГАЛЬМІВНІ СИЛИ	37
ГЛАВА 6. СИЛА ТЯГИ ЛОКОМОТИВІВ	45
ГЛАВА 7. ВИЗНАЧЕННЯ МАСИ СКЛАДУ ПОЇЗДА.....	50
ГЛАВА 8. ОБМЕЖЕННЯ ШВИДКОСТІ ТА РОЗВ'ЯЗАННЯ ГАЛЬМІВНОЇ ЗАДАЧІ.....	56
ГЛАВА 9. ПІДГОТОВКА ПОЗДОВЖНЬОГО ПРОФІЛЮ ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКІВ	59
ГЛАВА 10. ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ, ЧАСУ ТА ЕНЕРГОВИТРАТ НА РУХ ПОЇЗДА	61
ГЛАВА 11. ПЕРЕВІРКА ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ НА ПЕРЕГРІВ.....	66

ГЛАВА 12. ОПІР РУХУ ПІД ЧАС ЗРУШЕННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ ТА ГАЛЬМІВНІ РОЗРАХУНКИ ДЛЯ ПОЇЗДІВ ВУЗЬКОЇ КОЛІЇ	69
ГЛАВА 13. ТЯГОВІ ТА ІНШІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛОКОМОТИВІВ	73
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	77
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК	78
ДОДАТОК А. УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ, ОДИНИЦІ ВИМІРУ ВЕЛИЧИН ТА ЇХ ТОЧНІСТЬ	80
ДОДАТОК Б. КОЕФІЦІЄНТ, ЩО ВРАХОВУЄ ДОДАТКОВИЙ ПИТОМИЙ ОПІР РУХУ ПОЇЗДА ВІД НИЗЬКОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ЗОВНІШНЬОГО ПОВІТРЯ.....	84
ДОДАТОК В. КОЕФІЦІЄНТИ, ЩО ВРАХОВУЮТЬ ДОДАТКОВИЙ ПИТОМИЙ ОПІР РУХУ ПОЇЗДА ВІД ЗУСТРІЧНОГО ТА БІЧНОГО ВІТРУ	86
ДОДАТОК Г. ПРИБЛИЗНИЙ АЛГОРИТМ ТЯГОВИХ РОЗРАХУНКІВ У РАЗІ ВИКОРИСТАННЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ..	101
ДОДАТОК Д. ПІДГОТОВКА ДАНИХ ДЛЯ ТЯГОВИХ РОЗРАХУНКІВ У СЕРЕДОВИЩЕ MICROSOFT OFFICE EXCEL.....	104
ДОДАТОК Е. ПРИКЛАД ВИРІШЕННЯ ГАЛЬМІВНОЇ ЗАДАЧІ ...	110
ДОДАТОК Ж. ПРИКЛАД ТЯГОВОГО РОЗРАХУНКУ	111

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 спрацюванням автостопу 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).

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.

Дизельна секція: секція тягового агрегату з дизель-генераторною установкою, що забезпечує автономне живлення аналогічно тепловозу.

Екстрене гальмування: гальмування, що застосовується у випадках, що 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.

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.

При виконанні 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) 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 промислових 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.

Моторний вагон: вагон, в якому візки мають тягові двигуни (дизельні або електричні) для одночасного виконання функцій локомотива і вагона для перевезення пасажирів або вантажів. Тягове та гальмівне зусилля передаються за допомогою механічного зв'язку обмотореної колісної пари з кузовом. На промисловому транспорті моторний вагон представлений вантажним моторним думпкаром.

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 тонни 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 самохідний 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.

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

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.

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).

Спеціальний самохідний тяговий рухомий склад: незнімні самохідні рухомі одиниці на залізничному ході, призначені для забезпечення будівництва та функціонування інфраструктури залізничного

транспорту (мотовози, дрезини, спеціальні автомотриси, залізнично-будівельні машини з автономним двигуном і тяговим приводом).

Стоянкове гальмо рухомого складу: Гальмо рухомого складу з ручним або автоматичним приводом, розташоване на одиниці рухомого складу і призначено 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 споруджуваній 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.

Тяговий агрегат: дво- або трисекційний промисловий локомотив, що складається з електровоза управління (ЕУ) і різних комбінацій дизельної секції (ДС) і моторних думпкарів (МД), наприклад, ЕУ+ДС+МД, ЕУ+ДС+ДС, ЕУ+МД+МД, ЕУ+ДС, ЕУ+МД.

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.

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 прискорюючих та уповільнюючих 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, витраті палива та електроенергії для тяги, а також у вирішенні проблем гальмування. Економічний ефект підприємств промислового залізничного транспорту, ефективність використання локомотивного та вагонного парку безпосередньо залежать від точності тягових розрахунків.

Посібник ґрунтується на правилах тягових розрахунків для промислових локомотивів [1–4], розроблених ЗАТ «ПРОМТРАНСНИИПРОЕКТ» та опублікованих у 70-х роках, а також на правилах тягових розрахунків для поїзної роботи [5, 6], опублікованих у другій половині 80-х років.

У посібнику зокрема враховується:

- опір від повороту візків екіпажів у кривих, що спрямовано у різні боки (так звані S-подібні або обернені криві);
- опір на стрілочних переводах під час руху у бічний напрямок;
- залежність опору від стану колії або її рівня;
- зниження сили тяги при зовнішній температурі 20 °С і вище, а також при атмосферному тиску нижче 1013 гПа (760 мм рт. ст.);
- опір руху локомотива у зв'язку з тим, що в промисловому транспорті тягові розрахунки виконуються не тільки для поїзного руху, але і для маневрових рухів з невеликою кількістю вагонів, а також для руху локомотива без вагонів або спеціального рухомого складу;
- опір руху від низької зовнішньої температури повітря;
- опір руху від зустрічного та бічного вітрів – апроксимовані експериментальні дані наближені до їх логічно обґрунтованого обліку (у правилах для промислового транспорту враховується значно нижчим коефіцієнтом 1,2 без врахування залежності від швидкості поїзда, сили вітру та його густини).

Також у посібнику рекомендовано:

- враховувати понижувальний коефіцієнт на зменшення сили тяги локомотивів з тривалим терміном служби;
- включати в довжину кривих в плані половину довжин перехідних.

В посібнику застосовується методика визначення максимально допустимих швидкостей руху в умовах гальмування шляхом чисельного інтегрування за допомогою програмних засобів, а також враховано додаткові сили опори руху.

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;
- розрізняти типи та серії локомотивів, їх системи, агрегати та вузли з визначенням вимог до їхньої конструкції, параметрів та характеристик;
- 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 дисципліни 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;
- ідентифікувати типи та серії локомотивів, їх системи, агрегати, вузли та вимоги до їх характеристик та параметрів;
- визначати параметри локомотивів, їх систем, агрегатів та вузлів шляхом проведення вимірювального експерименту з оцінкою його результатів;
- 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;

– розраховувати техніко-економічні та експлуатаційні показники локомотивів, їх систем, агрегатів та вузлів.

Основні положення для тягових розрахунків промислового залізничного транспорту

1.1. Область застосування та загальні положення

У посібнику наведено порядок та методику тягових розрахунків, викладено основні нормативи, що приймаються в розрахунках, а також є основою для розрахунку витрати електроенергії та палива на тягу поїздів.

Правила застосовуються при тягових розрахунках для поїзної роботи локомотивів і моторвагонного рухомого складу на діючих і запроектованих залізницях промислового залізничного транспорту колії 1520 мм і 750 мм.

Одиниці фізичних величин, прийняті у посібнику, відповідають правилам тягових розрахунків для поїзної роботи і міжнародній системі одиниць (СИ).

Умовні літерні позначення, одиниці виміру величин, необхідна їх точність при виконанні тягових розрахунків наведені в додатку А.

Визначення швидкості, часу руху та енерговитрат передбачається виконувати в програмі Microsoft Office Excel з кроком інтегрування 50 м (основний крок) і менше (у разі зміни умов руху), на якому поїзд представляється матеріальною точкою, в якій зосереджена вся його маса (умовно в середині поїзда). На початковій ділянці руху, зважаючи на можливий швидкий набір швидкості поїздом і відповідної зміни (зменшення) сили тяги, кроки інтегрування приймаються довжиною 5, 5, 10, 15 і 15 м (або іншими, обраними в залежності від конкретних умов, складовими в сумі 50 м).

При призначенні кроку інтегрування менше 50 м для зручності використання пікетажу наступний крок рекомендується призначати

довжиною, що доповнює попередній крок до кратності 50 м (крім різаних пікетів).

Тягові розрахунки за наведеною методикою виконуються як для поїзного, так і для маневрового руху, включаючи й рух локомотива без вагонів, а у разі встановлення відповідних розрахункових характеристик – також для спеціального самохідного тягового рухомого складу.

Тягові розрахунки дозволяють комплексно встановлювати: масу поїзда (маневрового состава), вид тяги, необхідну або оптимальну потужність і необхідний парк локомотивів, час і енергоресурси, що витрачаються на поїзну і маневрову роботи, і пов'язані з цими показниками загальні техніко-економічні показники залізничного промислового транспорту.

Основними шляхами економії ресурсів, що витрачаються на рух поїздів і маневрову роботу (що слід враховувати й під час виконання тягових розрахунків), є:

- підвищення статичного навантаження вантажних вагонів – зменшується опір руху і відповідно витрати енергії сили тяги локомотива на перевезення вантажу;
- зниження порожнього (холостого) пробігу рухомого складу за рахунок раціонального його використання – зменшується необхідний парк рухомого складу та тривалість перевезення вантажів;
- оптимальний підбір типу рухомого складу (локомотивів – без завищення потужності, вагонів – з мінімальною масою тари) – підвищується ефективність використання рухомого складу;
- пом'якшення плану та профілю колії за рахунок збільшення радіусу кривих ділянок колії та зменшення крутизни підйомів, а також «шкідливих» спусків, на яких необхідно застосовувати регульовальне гальмування – зменшується опір руху та втрати раніше накопиченої кінетичної енергії поїзда;
- модернізація та посилення конструкції колії – сприяє комплексному зниженню експлуатаційних витрат і опору руху;
- правильне формування составів з різнотипних вагонів. Однотипні вагони доцільно зосереджувати в окремі групи. Найменший опір має состав, в якому групи вагонів розташовані з голови поїзда в послідовності зниження опору повітряного середовища (обтічності): криті, піввагони, цистерни, платформи. Опір повітряного середовища знижується при закритих дверях і люках вагонів;

- змащування гребенів коліс локомотива під час проходження кривих ділянок колії – знижується опір руху та зношування коліс й рейок;
- влаштування вітрозахисних лісосмуг та снігозахисних пристроїв, що знижують силу бічного вітру та снігозаностність колії;
- підтримка належного технічного стану та рівня утримання рухомого складу та колії, що сприяє зниженню основного опору руху;
- забезпечення відповідності сорту масла буксових підшипників рухомого складу сезону експлуатації;
- утримання гальмівної системи рухомого складу в справному стані, що виключає торкання гальмівних колодок коліс при негальмівних режимах;
- скорочення кількості та тривалості стоянок составів, особливо в зимовий час за низькими температурами повітря, коли швидко понижується температура масла буксових вузлів.

При цьому перераховані заходи скорочують трудовитрати на організацію перевезень і утримання рухомого складу та колійного господарства.

У посібнику під терміном «поїзд» (якщо не обумовлено конкретно) слід розуміти також і маневровий склад, а під поняттям «локомотив» – будь який тяговий рухомий склад, визначення якого наведено в термінах.

Вихідними даними, що вказуються в завданні на виконання тягових розрахунків (або в додатках до завдання), є:

- поздовжній профіль і план колії;
- тип (серія) локомотива та кількість секцій з урахуванням при необхідності подвійної або кратної тяги, підштовхування; для тягових агрегатів вказується їх склад (застосовувані одиниці агрегату); технічні характеристики (паспортні або фактичні дані) локомотива;
- дані у разі необхідності обліку в зчіпній вазі локомотива довантаження – укладання або зняття спеціальних плит або вантажу, що перевозиться та їх маса;
- понижувальний коефіцієнт, що враховує зниження потужності дизеля (зниження сили тяги) – у разі необхідності обліку зносу локомотива або перспективи зносу;
- необхідність обліку магнітнорейкового гальмування у разі використання тягових агрегатів;

- кількість вагонів у складі поїзда (маневрового складу) за типами та статичними навантаженнями з виділенням порожніх (у разі проектування встановлюється виконавцем);
- характер руху (поїзний, маневровий, локомотивом або вагонами вперед);
- обмеження швидкості руху (по кривих в плані, стрілочних переводів, по категорії колії, конструкційні для локомотива та вагонів у разі проектування встановлюється виконавцем);
- розрахункова довжина гальмівного шляху при її відмінності від 300 м;
- характеристика колії (ланкова, безстикова, тимчасова, пересувна), а також рівень її утримання (за оцінкою від 1 (високий рівень, відповідний нормам і правилам) до 0,7);
- довжина приймально-відправних або інших колій, з яких відправляється і на які прибуває поїзд або маневровий состав (у разі проектування встановлюється виконавцем);
- дані по вагонах прикриття у разі перевезення небезпечних вантажів і в інших випадках їх розрахунку;
- розрахункові кліматичні умови (температура зовнішнього повітря, швидкість вітру, атмосферний тиск). Якщо потрібні два розрахунки – для літнього та зимового періодів.

Посібник розроблено з урахуванням особливостей експлуатації промислового залізничного транспорту при вивізній і маневровій роботі на коліях обертання рухомого складу широкої (1520 мм) і вузької (750 мм) колії.

У методиці реалізована можливість практичного використання програмних засобів для трудомістких тягових розрахунків, що забезпечує необхідну їх точність і значне скорочення витрат часу.

При виконанні тягових розрахунків слід мати на увазі те, що більшість формул, числових значень величин, коефіцієнтів і довідкових даних, які використовуються в розрахунках, мають статистичний або емпіричний характер і точно не встановлюють фактичний стан як рухомого складу, так і стан колії, інші місцеві умови. Тому навіть при використанні високоточних методів чисельної інтеграції рівняння руху поїзда результати розрахунків будуть наближеними і підлягають уточненню перед експлуатацією за даними дослідних поїздок.

Технічні характеристики рухомого складу, тягові характеристики локомотивів, зважаючи на їх значну різноманітність і поповнення парку новим сучасним рухомим складом, передбачається уточнювати і поповнювати достовірними (перевіреними) даними під час виконання першого розрахунку з конкретним типом рухомого складу. Спочатку виконаний розрахунок для певного локомотива рекомендується зберігати та застосовувати в подальшому для виконання всіх наступних розрахунків з використанням даного локомотива.

1.2. Особливості тягових розрахунків для вантажних поїздів на тепловозній та електричній тязі

У зв'язку з тим, що в тягових розрахунках, як у разі тепловозної, так і у разі електричної тяги на змінному або постійному струмі основними є сили, що діють на поїзд (сила тяги локомотива – додатна, сили опору руху – від'ємні), принцип дії і визначення яких при будь-якому виді тяги не розрізняються, для універсальності та компактності методики, враховуючи також і недоцільність розробки декількох комп'ютерних програм тягових розрахунків, основні положення, правила та формули прийняті в даній методиці єдиними (без виділення в окремі структурні елементи (глави) за ознакою «вид тяги»).

У випадках наявності особливостей для різних видів тяги, такі положення викладені з чітким застереженням виду тяги, для якої їх слід застосовувати.

Єдиними положеннями в тягових розрахунках є:

- основний опір руху поїзда (локомотива і вагонів);
- додаткові опори руху поїзда (від ухилу, від кривої в плані та стрілочних переводів, від низької температури зовнішнього повітря, від зустрічного і бічного вітру, при русі вагонами вперед і від стану колії);
- гальмівні сили;
- сила тяги локомотива;
- перевірка маси состава на рушення з місця та не перевищення довжини приймально-відправних колій;
- обмеження швидкості та рішення гальмівної задачі;
- підготовка поздовжнього профілю до виконання розрахунків;

- визначення швидкості та часу руху поїзда;
- розрахунок механічної роботи локомотива.

В окремо обумовлені для різних видів тяги виділені положення:

- зниження зчеплення в кривих ділянках колії (величина радіусів, за яких враховується зниження зчеплення для тепловозної та електричної тяги);
- визначення маси состава за керівним ухилом;
- визначення швидкості виходу та дотичної сили тяги тепловоза для автоматичної характеристики;
- зниження сили тяги тепловоза за певних атмосферних умов;
- розрахунок витрати палива або електроенергії при змінному або постійному струмі.

Запитання до самоконтролю

- 1. Чому дорівнюють кроки інтегрування на початку руху?*
- 2. Що комплексно встановлюють тягові розрахунки?*
- 3. Яким чином впливає підвищення статичного навантаження вагонтанжних вагонів на витрату енергоресурсів?*
- 4. Яким чином впливає збільшення радіусу кривих ділянок колії та зменшення крутизни підйомів на витрату енергоресурсів?*
- 5. Як формувати состав для зменшення опору руху?*
- 6. Які вихідні дані для виконання тягових розрахунків вказуються?*
- 7. Перелічіть додаткові складові опори руху поїзда.*

Основний питомий опір руху поїзда

Розрахункові формули для визначення основного питомого опору руху рухомого складу в Н/т враховують середньоексплуатаційні умови при температурі зовнішнього повітря в діапазоні від $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ і швидкостях вітру, що не перевищують 5 м/с.

Основний питомий опір руху локомотивів в залежності від швидкості визначається за формулами:

– в режимі тяги

$$\omega'_0 = 9,81 \cdot (a'_0 + b'_0 \cdot V + c'_0 \cdot V^2), \quad (2.1)$$

– на холостому ходу

$$\omega'_x = 9,81 \cdot (a'_x + b'_x \cdot V + c'_x \cdot V^2), \quad (2.2)$$

де V – швидкість руху, км/год, (у розрахунках приймається на початку кроку інтегрування);

a, b, c – розрахункові коефіцієнти з відповідними індексами, значення яких приймаються за таблицею 2.1.

Основний питомий опір руху вагонів (на роликівих підшипниках) в залежності від швидкості визначається за формулами:

– для вантажних вагонів загального призначення колії 1520 мм при масі брутто, що припадає на одну вісь, $q_0 > 6\text{ т}$

Таблиця 2.1

Величина коефіцієнтів для визначення опору руху локомотивів

Типи локомотивів	Характеристика колії	a'_0	b'_0	c'_0	a'_{0x}	b'_{0x}	c'_{0x}
Колія 1520 мм							
Промислові тепловози:							
– з електропередачою	ланкова	3,00	0,010	0,00020	3,50	0,010	0,00020
– з гідропередачою (маневровий режим)	ланкова	2,50	0,013	0,00300	2,40	0,050	0
– з гідропередачою (поїзний режим)	ланкова	2,00	0,040	0,00200	2,40	0,050	0
Промислові електровози і тягові агрегати змінного струму	ланкова	2,60	0,070	0,00250	2,80	0,023	0,00075
Промислові електровози постійного струму з навантаженням на вісь до 25 т	ланкова	2,90	0,080	0	3,70	0,090	0
Промислові електровози та тягові агрегати постійного струму з навантаженням на вісь 30 т	ланкова	2,75	0,080	0	3,54	0,090	0
Тепловози та електровози загальної мережі	ланкова	1,90	0,010	0,00030	2,40	0,011	0,00035
	безстикова	1,90	0,008	0,00025	2,40	0,009	0,00035
Колія 750 мм							
Локомотиви з гідропередачою	ланкова	2,48	0,062	0,00050	4,28	0,053	0,00210

Примітка. Дані для промислових локомотивів колії 1520 мм прийняті за правилами тягових розрахунків на промисловому транспорті, для локомотивів загальної мережі колії 1520 мм і для локомотивів колії 750 мм – за правилами тягових розрахунків для поїзної роботи.

Збільшення опору на тимчасових коліях, в тому числі на пересувних (переукладаємих) коліях кар'єрів і відвалів, враховано в додаткових опорах руху

$$\omega_0'' = 9,81 \cdot \left(0,7 + \frac{a_0'' + b_0'' + c_0'' \cdot V^2}{q_0} \right), \quad (2.3)$$

де V – швидкість руху, км/год, (у розрахунках приймається на початку кроку інтегрування);

a, b, c – відповідно частки у складі за масою чотирьох -, шести -, восьмиосних вагонів і вагонів різного призначення, значення яких приймаються за таблицею 2.2.

За формулою (2.3) розраховується також основний питомий опір руху порожніх восьмиосних та інших вагонів з $q_0 > 6$ т.

– для вантажних вагонів загального призначення колії 1520 мм при масі брутто, що припадає на одну вісь, $q_0 \leq 6$ т (в основному, порожніх)

$$\omega_0'' = 9,81 \cdot (a_{0x}'' + b_{0x}'' \cdot V + c_{0x}'' \cdot V^2); \quad (2.4)$$

– для промислових навантажених вагонів колії 1520 мм і вантажних навантажених вагонів колії 750 мм

$$\omega_0'' = 9,81 \cdot (a_{0x}'' + b_{0x}'' \cdot V + c_{0x}'' \cdot V^2); \quad (2.5)$$

– для промислових порожніх вагонів колії 1520 мм і вантажних порожніх вагонів колії 750 мм

$$\omega_0'' = 9,81 \cdot (a_{0x}'' + b_{0x}'' \cdot V + c_{0x}'' \cdot V^2). \quad (2.6)$$

Якщо состав формується з вагонів різного типу, з різною масою брутто, що припадає на одну вісь, навантажених і порожніх вагонів, основний питомий опір руху вагонів визначається як середньозважений по масі за формулою:

$$\omega_0'' = \frac{\omega_0'' \cdot Q_1 + \dots + \omega_{0n}'' \cdot Q_n}{Q}, \quad (2.7)$$

де $\omega_0'' + \dots + \omega_{0n}''$ – основні питомі опору руху вагонів (з характеристикою, що розрізняється), Н/т;

Таблиця 2.2

Величина коефіцієнтів для визначення опору руху вагонів

Типи вагонів	Характеристика колії	a''_0	b''_0	c''_0	a''_{0x}	b''_{0x}	c''_{0x}
Колія 1520 мм							
Загального призначення на роликів підшипниках:							
– 4-осні	ланкова	3	0,100	0,0025	1	0,044	0,00024
– 6-осні		8	0,100	0,0025	1	0,044	0,00024
– 8-осні		6	0,038	0,0021	–	–	–
– 4-осні	безстикова	3	0,090	0,0020	1	0,042	0,00016
– 6-осні		8	0,080	0,0020	1	0,042	0,00016
– 8-осні		6	0,026	0,0017	–	–	–
Промислові:							
– думпкар ВС100, 2ВС105, 2ВС180	ланкова	3,6	0,040	0	4,8	0,050	0
– думпкар ВС80, ВС85		3,1	0,020	0	4,0	0,030	0
– думпкар 3ВС50, 6ВС60		2,7	0,030	0	3,5	0,040	0
– хопер, 57 т		1,5	0,030	0	2,5	0,040	0
– ковш шлаковозний, 11 м ³		3,4	0,020	0	4,7	0,050	0
– ковш шлаковозний, 16 м ³		3,5	0,050	0	3,8	0,070	0
– чавуновоз		4,1	0,140	0	4,6	0,090	0
– злитковозний візок чотиривісний		4,0	0	0	5,0	0	0
– злитковозний візок двовісний		5,5	0	0	6,0	0	0
Колія 750 мм							
Вантажні вагони	ланкова	1	0,040	0,00032	1,2	0,020	0,00170

Примітка. Дані для вагонів загального призначення колії 1520 мм і для вагонів колії 750 мм прийняті за правилами тягових розрахунків [5], для промислових вагонів – за [1–3].

Збільшення опору на тимчасових коліях, в тому числі на пересувних (переукладаємих) коліях кар'єрів і відвалів, враховано в додаткових опорах руху

$Q_1 + \dots + Q_n$ – маси частин состава (вагонів), т, (відповідні певним ω_0'');

Q – маса состава (вагонів) загальна, т, ($Q = Q_1 + \dots + Q_n$).

Основний питомий опір руху поїзда визначається як середньозважений для локомотива і складу (вагонів) за формулами:

– в режимі тяги

$$\omega_0 = \frac{\omega_0' \cdot P + \omega_0'' \cdot Q}{P + Q}, \quad (2.8)$$

де P – розрахункова маса локомотива, т;

Q – маса складу (вагонів), т.

– на холостому ході

$$\omega_{0x} = \frac{\omega_x' \cdot P + \omega_0'' \cdot Q}{P + Q}. \quad (2.9)$$

Під час перевірки маси складу за зрушенням з місця основний питомий опір состава (вагонів) визначається в залежності від маси бруто, що припадає на одну вісь вагона q_0 , за формулою:

– для рухомого складу загального призначення

$$\omega_{0зр} = 9,81 \cdot k \frac{28}{q_0 + 7}, \quad (2.10)$$

де k – коефіцієнт, що враховує кількість вагонів у складі (приймається: 1,0 при 7 і більше вагонів; 1,1 – 6 вагонів; 1,2 – 5 вагони; 1,3 – 4 вагони; 1,4 – 3 вагони; 1,6 – 2 вагони; 1,8 – 1 вагони).

– для промислового рухомого складу

$$\omega_{0зр} = 9,81 \cdot k \frac{20}{q_0 + 7}. \quad (2.11)$$

Якщо склад формується з вагонів з різним навантаженням на вісь,

основний питомий опір складу по зрушенню з місця визначається як середньозважений по масі за формулою:

$$\omega_{0зр} = \frac{\omega_{0зр1} \cdot Q_1 + \dots + \omega_{0зрn} \cdot Q_n}{Q}, \quad (2.12)$$

де $\omega_{0зр1} + \dots + \omega_{0зрn}$ – питомі сили опору вагонів, Н/т, (різняться масою брутто, що припадає на одну вісь);

$Q_1 + \dots + Q_n$ – маси частин состава (вагонів), т, (відповідні певним $\omega_{0зр}$);

Q – маса складу (вагонів) загальна, т,
($Q = Q_1 + \dots + Q_n$).

Основний питомий опір руху поїзда та основний питомий опір складу при перевірці маси складу по зрушенню з місця підсумовуються з додатковими питомими силами опорами руху поїзда в порядку, викладеному в главі 4.

Приклад

Вихідні дані: колія – ланкова, ширина колії – 1520 мм; швидкість руху – 50 км/год; локомотив – дві одиниці ТЭМ7А (подвійна тяга), розрахункова маса однієї одиниці – 180 т; вагони – вантажні загального призначення.

Основний питомий опір руху тепловоза:

– у режимі тяги за формулою (2.1)

$$\omega'_0 = 9,81 \cdot (3 + 0,010 \cdot 50 + 0,00020 \cdot 50^2) = 39,24 \text{ Н/т};$$

– на холостому ході за формулою (2.2)

$$\omega'_x = 9,81 \cdot (2,4 + 0,011 \cdot 50 + 0,00035 \cdot 50^2) = 44,15 \text{ Н/т}.$$

Дані за вагонами наведено в таблиці 2.3, а основний питомий опір руху вагонів ω''_0 і основний питомий опір руху вагонів при зрушенні $\omega_{0зр}$ – в таблиці 2.4.

Таблиця 2.3

Визначення параметрів вагонів

Тип вагона	Кількість вагонів	Тара вагона, т	Завантаження (стат. навант.) вагона, т	Маса одного вагона (брутто), т	Маса брутто на одну вісь q_0 , т	Маса частини состава, т	Довжина частини состава, м
4-віс. піввагон	4	22	40	$22+40=62,0$	$62/4=15,5$	$62 \cdot 4=248$	$13,92 \cdot 4 = 55,7$
4-віс. піввагон	10	21,1	70	$21,1+70=91,1$	$91,1/4=22,8$	$91,1 \cdot 10=911$	$13,92 \cdot 10=139,2$
8-віс. цистерна	5	48,8	110	$48,8+110=158,8$	$158,8/8=19,9$	$158,8 \cdot 5=794$	$21,12 \cdot 5 =105,6$
4-віс. критий	30	22,7	—	22,7	$22,7/4= 5,7$	$22,7 \cdot 30=681$	$14,73 \cdot 30=441,9$
Всього	49	—	—	—	—	2634	742,4

Таблиця 2.4

Основний питомий опір руху вагонів

Тип вагона і величина q_0 , т/вісь	ω_0'' за формулою (2.3), Н/т	$\omega_{0зр}$ за формулою (2.10), Н/т
4-віс. піввагон; 15,5	$9,81 \cdot (0,7+(3+0,1 \cdot 50+0,0025 \cdot 50^2)/15,5)=15,89$	$9,81 \cdot 28/(15,5+7)=12,16$
4-віс. піввагон; 22,8	$9,81 \cdot (0,7+(3+0,1 \cdot 50+0,0025 \cdot 50^2)/22,8)=13,05$	$9,81 \cdot 28/(22,8+7)=9,22$
8-віс. цистерна; 19,9	$9,81 \cdot (0,7+(6+0,038 \cdot 50+0,0021 \cdot 50^2)/19,9)=13,34$	$9,81 \cdot 28/(19,9+7)=10,2$
4-віс. критий; 5,7	$9,81 \cdot (1+0,044 \cdot 50+0,00024 \cdot 50^2)=37,28$	$9,81 \cdot 28/(5,7+7)=21,58$

Середньозважений основний питомий опір руху вагонів за формулою (2.7)

$$\omega_0'' = \frac{15,89 \cdot 248 + 13,34 \cdot 911 + 13,34 \cdot 794 + 3,80 \cdot 681}{2634} = 10,03 \text{ Н/т.}$$

Основний питомий опір руху поїзда:
– у режимі тяги за формулою (2.8)

$$\omega_0 = \frac{39,24 \cdot 180 \cdot 2 + 10,03 \cdot 2634}{180 \cdot 2 + 2634} = 13,54 \text{ Н/т,}$$

де 2 – кількість тепловозів.

– на холостому ходу за формулою (2.9)

$$\omega_{0x} = \frac{44,15 \cdot 180 \cdot 2 + 10,03 \cdot 2634}{180 \cdot 2 + 2634} = 14,13 \text{ Н/т.}$$

Середньозважений основний питомий опір при перевірці маси складу по рушанню з місця за формулою (2.12):

$$\omega_{0зр} = \frac{12,16 \cdot 248 + 9,22 \cdot 911 + 10,2 \cdot 794 + 21,58 \cdot 681}{2634} = 12,99 \text{ Н/т.}$$

Запитання до самоконтролю

1. Якими параметрами характеризуються середньоексплуатаційні умови?
2. Яким чином впливає швидкість руху на величину основного питомого опору руху локомотива у режимах тяги, холостого ходу?
3. Яким чином осьове навантаження впливає на величину основного питомого опору руху вагонів?
4. У чому особливості визначення основного питомого опору руху состава у разі його формування з вагонів різного типу?
5. Аналіз впливу кількості вагонів на величину основного питомого опору состава під час зрушення з місця.

Додаткові питомі сили опору руху поїзда

3.1. Додатковий питомий опір руху від ухилу

Додатковий питомий опір руху від ухилу ω_i в Н/т приймається рівним числу проміле (‰) спрямленого ухилу i_c (на підйомі зі знаком «+», на спуску зі знаком «-»):

$$\omega_i = 9,81 \cdot i_c. \quad (3.1)$$

Приклад

Елементи поздовжнього профілю колії мають ухили $i_{c1} = -12 \text{ ‰}$ (спуск) і $i_{c2} = 7,5 \text{ ‰}$ (підйом). Питомі опору руху від ухилу на цих ділянках дорівнюють

$$\omega_{i1} = -117,72 \text{ Н/т}; \quad \omega_{i2} = 73,58 \text{ Н/т}.$$

3.2. Додатковий питомий опір руху поїзда від кривої

Додатковий питомий опір під час руху поїзда у кривій ділянці колії ω_{r0} в Н/т визначається за формулою:

$$\omega_{r0} = 9,81 \cdot \frac{700 \cdot S_{\text{кр}}}{R \cdot L_{\text{п}}} \cdot k_s \cdot k_y, \quad (3.2)$$

де R – радіус кривої, м;

$S_{кр}$ – довжина кривої, м. Співвідношення довжини кривої та довжини поїзда враховується тільки при $S_{кр} < L_{п}$;

$L_{п}$ – довжина поїзда, м;

k_s – коефіцієнт на опір від повороту візків екіпажів, що вводиться при наявності кривих малого радіуса (для колії 1520 мм не більше 700 м, для колії 750 мм не більше 425 м), спрямованих в різні боки (S-образних або зворотних кривих), що приймається при безпосередньому стикуванні кривих або відстані між ними менше 1/3 довжини поїзда: при двох різноспрямованих кривих – 1,1, при трьох різноспрямованих кривих – 1,26, при чотирьох різноспрямованих кривих – 1,5, а при відстані між кривими до 1/2 довжини поїзда – відповідно 1,05, 1,13 та 1,25;

k_y – коефіцієнт, що приймається для колії 750 мм $0,607 \cdot (425/700)$.

Довжина кривої $S_{кр}$ при наявності перехідних кривих приймається за вирахуванням із сумарної довжини кривої половини суми довжин перехідних кривих.

Додатковий питомий опір у разі руху поїзда по стрілочному переводу на бічний напрямок визначається аналогічно руху по кривій. Під час руху поїзда по стрілочних переводах на бічні різнобічні напрямки (умовно криві, спрямовані в різні боки) необхідно також враховувати опір від повороту візків екіпажів.

Усереднені дані по стрілочних переводах для розрахунків наведені в таблиці 3.1.

Під час виконання тягових розрахунків слід враховувати допустимі швидкості руху по кривих в залежності від радіуса та підвищення зовнішньої рейки та по стрілочних переводах в залежності від їх конструкції (так само, як і розрахункові швидкості руху в залежності від категорії (конструкції) колії, швидкості руху рухомого складу, що допускаються, – конструкційні швидкості, а для спеціального рухомого складу – швидкості, встановлені правилами технічної експлуатації).

Таблиця 3.1

Основний питомий опір руху вагонів

Марка стрілочного переводу	Радіус кривої * R_{nk} , м	Довжина кривої * L_{nk} , м	Марка стрілочного переводу	Радіус кривої * R_{nk} , м	Довжина кривої * L_{nk} , м
1/11	300	27	1/7***	160	20
1/11** криво- лін.	600/300	33	1/6***	142	20
1/9	254	27	1/5***	75	14
1/7	145	19	1/4,5*** симетр.	181	18
1/6 симетр.	200	15	1/3,5*** симетр.	121	15

Примітка: * радіуси кривих (в тому числі складових) і їх довжини округлені

** радіуси по криволінійному переходу вказані: перед рискою – по основному напрямку, після риси – по бічному напрямку

*** стрілочні переводи для промислового транспорту колії 1524 мм

Приклад

1. Визначення питомих опорів від кривих за довжиною поїзда 584 м.

На кривій з радіусом 480 м і перехідними кривими довжиною 60 і 40 м (сумарна довжина кривої 665 м, враховується в розрахунках: 665 – (60 + 40)/2=615 м – більше довжини поїзда) без урахування довжин кривої та поїзда

$$\omega_{r0} = \frac{9,81 \cdot 700}{480} = 14,3 \text{ Н/т.}$$

На кривій з радіусом 250 м і перехідними кривими довжиною 20 і 30 м (сумарна довжина кривої 402 м, а враховується в розрахунках: 402 – (20 + 30)/2=377 м – менше довжини поїзда) з урахуванням довжин кривої та поїзда

$$\omega_{r0} = \frac{9,81 \cdot 700}{250} \cdot \frac{377}{584} = 17,73 \text{ Н/т.}$$

Якщо ці криві S-подібні, то питомі опори будуть збільшені на 1,1 і складуть відповідно 14,3·1,1 = 15,73 Н/т та 17,73·1,1 = 19,5 Н/т.

2. Визначення питомого опору при русі поїзда довжиною 584 м на бічний напрямок по стрілочному переводу марки 1/9 при радіусі 254 м і довжині кривої 27 м з урахуванням довжин кривої і поїзда

$$\omega_{r0} = \frac{9,81 \cdot 700}{250} \cdot \frac{27}{584} = 1,25 \text{ Н/т.}$$

3.3. Додатковий питомий опір руху поїзда при низькій температурі зовнішнього повітря

Додатковий питомий опір руху поїзда при низькій температурі зовнішнього повітря $\omega_{нт}$ в Н/т (враховується при температурі зовнішнього повітря нижче -10°C) визначається за формулою:

$$\omega_{нт} = k_{нт} \cdot \omega_0, \quad (3.3)$$

де $k_{нт}$ – коефіцієнт, що приймається за додатком Б (за таблицями або номограмами в таблиці Б.1) залежно від температури зовнішнього повітря $t_{зп}$ і швидкості руху поїзда;

ω_0 – основний питомий опір руху поїзда, Н/т.

На промисловому залізничному транспорті розрахункова (низька) температура зовнішнього повітря приймається транспортним підрозділом підприємства, як правило, такою ж, як і на прилеглій ділянці залізниць загальної мережі. У попередніх розрахунках допускається приймати розрахункову (низьку) температуру зовнішнього повітря за нормативним документом «Будівельна кліматологія» або за науково-прикладними довідниками з клімату (параметр «абсолютна мінімальна температура повітря»).

3.4. Додатковий питомий опір руху поїзда від зустрічного та бічного вітру

Додатковий питомий опір руху поїзда від зустрічного та бічного вітру $\omega_{\text{в}}$ в Н/т визначається за формулою:

$$\omega_{\text{в}} = k_{\text{в}} \cdot \omega_0, \quad (3.4)$$

де $k_{\text{в}}$ – коефіцієнт, що приймається за додатком В залежно від швидкості вітру і швидкості руху поїзда;
 ω_0 – основний питомий опір руху поїзда, Н/т.

Коефіцієнт $k_{\text{в}}$ приймається при швидкості вітру від 6 до 12 м/с по таблиці В.1 додатка В, а при швидкості вітру $V_{\text{в}}$ більше 12 м/с – за таблицею В.2 додатка В (на період особливо несприятливих погодних умов) залежно від густини повітря ρ в кг/м³, яка визначається в залежності від його температури та атмосферного тиску (для значень 904 гПа (680 мм рт. ст.) і вище) за формулою:

$$\rho = 0,35 \cdot \frac{H_{\text{бар}}}{t_{\text{зп}} + 273}, \quad (3.5)$$

де $H_{\text{бар}}$ – атмосферний тиск, гПа (якщо задається в мм рт. ст., слід перекладати в гПа множенням на 1,33);
 $t_{\text{зп}}$ – температура зовнішнього повітря, °С;
273 – температура за шкалою Кельвіна, відповідна 0 °С.

На промисловому залізничному транспорті швидкість вітру приймається транспортним підрозділом підприємства, як правило, такою ж, як і на прилеглий ділянці залізниць загальної мережі. У попередніх розрахунках допускається приймати швидкість вітру за нормативним документом СП 131.13330 або за науково-прикладними довідниками з клімату.

3.5. Додатковий питомий опір у разі руху поїзда вагонами вперед

Додатковий питомий опір у разі руху поїзда вагонами вперед $\omega_{\text{вв}}$ в Н/т в залежності від ухилу визначається за формулою:

$$\omega_{\text{вв}} = \left(0,15 + \frac{i}{1000} \right) \cdot \omega_0, \quad (3.6)$$

де i – уклон, ‰ (на спуску ухил приймається без знаку мінус);
 ω_0 – основний питомий опір руху поїзда, Н/т.

3.6. Додатковий питомий опір в залежності від стану колії

Додатковий питомий опір руху поїзда в залежності від стану колії $\omega_{\text{ск}}$ в Н/т або рівня його утримання (наявність нерівностей, дефектів, засмічувачів і т. п.), визначається за формулою:

$$\omega_{\text{ск}} = (k_{\text{ск}} - 1) \cdot \omega_0, \quad (3.7)$$

де $k_{\text{ск}}$ – коефіцієнт, що враховує стан колії (приймається по таблиці 3.2);
 ω_0 – основний питомий опір руху поїзда, Н/т.

Коефіцієнт $k_{\text{ск}}$ по таблиці 3.2 рекомендується приймати у разі проектування залізниць. Для експлуатованих колій коефіцієнт уточняються при обстеженні їх фактичного стану. На безстикових коліях, як правило, $k_{\text{ск}}$ приймається рівним 1.

Таблиця 3.2

Величина коефіцієнту, що враховує стан колії

Вид колії	Величина $k_{ск}$
Під'їзні колії	1,05
З'єднувальні колії, приймально-відправні колії на роздільних пунктах	1,10
Інші колії підприємств	1,15
Малодіяльні та тимчасові вантажно-розвантажувальні колії	1,20
Пересувні (переукладувальні) колії	1,30

Запитання до самоконтролю

- 1. Аналіз впливу параметрів кривої на величину додаткового питомого опору під час руху поїзда у кривій ділянці колії.*
- 2. Яким чином враховується вплив повороту візків екіпажів на величину додаткового питомого опору під час руху поїзда у кривій?*
- 3. Визначення додаткового питомого опору руху поїзда за низької температури зовнішнього повітря, від зустрічного та бічного вітру, у разі руху поїзда вагонами вперед.*
- 4. Аналіз впливу температури зовнішнього повітря та швидкості руху на додатковий питомий опір руху поїзда за низької температурою зовнішнього повітря.*
- 5. Аналіз впливу атмосферного тиску, швидкості вітру та швидкості руху на додатковий питомий опір руху поїзда від зустрічного та бічного вітру.*

Повний опір руху поїзда

Повний опір руху поїзда в тяговому режимі W , Н, визначається як сума основного і додаткових опорів, що визначаються в залежності від маси локомотива та состава (вагонів) за формулою:

$$W = (\omega'_0 \cdot P + \omega''_0 \cdot Q + (P + Q) \cdot (\omega_i + \omega_{r0} + \omega_{нт} + \omega_{в} + \omega_{вв} + \omega_{ск})), \quad (4.1)$$

де P і Q – розрахункова маса локомотива та маса состава (вагонів), т;
 ω – питомі опору руху розрахунок яких наведено у розділах 2 і 3 (з відповідними індексами), Н/т.

Питомий опір руху поїзда в тяговому режимі ω в Н/т визначається за формулою:

$$\omega = \frac{W}{P + Q}. \quad (4.2)$$

Повний та питомий опір руху поїзда під час холостого ходу локомотива визначається за формулами (4.1, 4.2) із заміною у формулі (4.1) ω'_0 та ω'_x .

Повний опір руху поїзда під час перевірки маси состава по зрушенню з місця $W_{зр}$ в Н визначаються за формулою:

$$W_{зр} = (\omega'_0 \cdot P + \omega_{0зр} \cdot Q + (P + Q) \cdot (i + \omega_{r0} + \omega_{нт} + \omega_{в} + \omega_{вв} + \omega_{ск})), \quad (4.3)$$

де P і Q – розрахункова маса локомотива та маса состава (вагонів), т;
 ω – питомі опору руху розрахунок яких наведено у розділах 2 і 3 (з відповідними індексами), Н/т.
 i – ухил, на якому відбувається зрушення поїзда, Н/т (‰).

У зв'язку з тим, що тягові розрахунки можуть виконуватися для маневрових рейсів з невеликою кількістю вагонів, а також для руху локомотива без вагонів або спеціального рухомого складу, опір руху тягового засобу (локомотива) в розрахунках враховується.

Питомий опір руху поїзда під час перевірки маси состава по зрушенню з місця $\omega_{зр}$ в Н визначається за формулою:

$$\omega_{зр} = \frac{W_{зр}}{P+Q}. \quad (4.4)$$

Для забезпечення стійкої роботи локомотивів в регіонах, де кліматичні умови значно змінюються в залежності від пори року, опір руху поїзда та відповідно розрахункову масу состава необхідно визначати для літнього та зимового періодів (згідно з завданням, в якому вказуються розрахункові кліматичні умови).

Запитання до самоконтролю

- 1. Особливості визначення величини повного опору руху поїзда в тяговому режимі та під час холостого ходу локомотива.*
- 2. Особливості визначення величини повного опору руху поїзда під час перевірки маси состава по зрушенню з місця.*
- 3. Яким чином змінюється величина повного опору руху поїзда у різні пори року?*

Гальмівні сили

Для гальмування використовується пневматичне гальмівне колодкове обладнання локомотива та вагонів. Крім того, при застосуванні тягових агрегатів може використовуватися магніторейкове гальмування.

Електричне реостатне гальмування (регульовальне) в розрахунках не враховується – використовується, головним чином, для пригальмування поїздів на затяжних спусках.

Повна гальмівна сила поїзда (локомотива та вагонів) B_r , Н, при колодковому гальмуванні визначається в залежності від дійсного коефіцієнта тертя гальмівної колодки об колесо і дійсної сили натискання гальмівних колодок на вісь за формулою:

$$B_r = \sum (\varphi \cdot K), \quad (5.1)$$

де φ – дійсний коефіцієнт тертя гальмівної колодки об колесо;

K – дійсна сила натискання гальмівних колодок на вісь (табл. 5.2 та 5.3), Н.

Дійсний коефіцієнт тертя гальмівної колодки об колесо φ визначається за формулою:

$$\varphi = a_1 \cdot \frac{a_2 \cdot K + a_3}{a_4 \cdot K + a_5} \cdot \frac{a_6 \cdot K + a_7}{a_8 \cdot K + a_9}, \quad (5.2)$$

де $a_1, \dots, a_9$ – розрахункові коефіцієнти з відповідними індексами, значення яких приймаються за таблицею 5.1.

Дійсна сила натискання гальмівних колодок на вісь K для вагонів загального призначення приймається по таблиці 5.2, для промислового транспорту – по таблиці 5.3.

Таблиця 5.1

Величини коефіцієнтів

Тип колодок	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9
<i>Для транспорту загального призначення</i>									
стандартні чавунні	0,600	0,016	100	0,080	100	1	100	5,000	100
чавунні з вмістом фос- фору (1,0 – 1,4)%	0,500	0,016	100	0,052	100	1	100	5,000	100
композиційні	0,440	0,001	20	0,004	20	1	150	2,000	150
<i>Для кар'єрного транспорту</i>									
стандартні чавунні	0,780	0,016	100	0,080	100	0	100	3,180	100
композиційні	0,603	0,005	100	0,020	100	0	100	1,406	100
для транспорту колії 750мм	0,450	1	10	8	10	0	25	1	25

Таблиця 5.2

Величина дійсної сили натискання гальмівних колодок на вісь для вагонів загального призначення

Тип вагона	Кількість осей	Кількість колодок	Тип колодок	K, Н у режимі гальмування		
				вантаж- ному	серед- ньому	порож- ньому
Напіввагон, цементовоз	4	8	чавунні	3 800	2 300	1 260
			композиц.	2 400	1 480	820
Платформа, критій, цистерна	4	8	чавунні	3 820	2 340	1 280
			композиц.	2 500	1 540	850
Напіввагон	8	16	чавунні	3 500	2 180	1 240
			композиц.	2 200	1 350	750
Цистерна	8	16	чавунні	3 700	2 300	1 300
			композиц.	2 500	1 500	860

Таблиця 5.3

**Величина дійсної сили натискання гальмівних колодок на вісь для
промислового транспорту**

Рухомий склад і тип колодок (ч – чавунні, к – компози- ційні)	$K/\sum K$, Н, при тиску в гальмівному циліндрі, кПа		
	390 (вантажний режим)	255 (середній режим)	135 (порожній режим)
1	2	3	4
Тепловози			
ТЭ10 1 секція (ч)	7100 / 85200	4300 / 51600	1900 / 22800
ТЭ3 1 секція (ч)	6000 / 72000	2300 / 27600	1000 / 12000
ТЭМ7	13500 / 108000	9450 / 64800	5500 / 44000
ТЭМ2 (ч)	6000 / 72000	3000 / 36000	1300 / 15600
ТЭМ1 (ч)	6000 / 72000	3000 / 36000	1300 / 15600
ТГМ6А 1 секція (ч)	6750 / 54000	3400 / 27200	1500 / 12000
ТГМ4 (ч)	6700 / 53600	3400 / 27200	1500 / 12000
ТГМ3 (ч)	4900 / 39200	2700 / 21600	1200 / 9600
ТГМ23, ТГМ1 (ч)	3800 / 22800	2500 / 15000	1300 / 7800
ТГК2 (ч)	2200 / 17600	1400 / 11200	900 / 7200
Електровоз			
ІВКП-1А (ч)	6400 / 51200	3900 / 31200	1800 / 14400
ЭЛ2 (ч)	6900 / 55200	4200 / 33600	2000 / 16000
ЭЛ1 (ч)	6900 / 82800	4200 / 50400	2000 / 24000
26Э2М (ч)	7100 / 85200	4400 / 52800	2200 / 26400
Д94 (ч)	3800 / 60800	2400 / 38400	1200 / 19200
Тягові агрегати			
ПЭ2М, ПЭ1, ПЭ3Т – електровоз управління або мо- торний думпка́р (ч)	4300 / 68800	2600 / 41600	1200 / 19200
ПЭ2М, ПЭ1, ПЭ3Т – електровоз управління або мо- торний думпка́р (к)	1900 / 30400	1200 / 19200	500 / 8000
ЭЛ10 – електровоз управ- ління або моторний думпка́р (ч)	2400 / 38400	1500 / 24000	600 / 9600
ОПЭ1 – електровоз управ- ління, дизельна секція або мо- торний думпка́р (ч)	5000 / 80000	3200 / 51200	1500 / 24000
ОПЭ1А, ОПЭ2 – електровоз управління, дизе- льна секція або моторний ду- мпка́р (ч)	4300 / 68800	2600 / 41600	1200 / 19200

Продовження табл. 5.3

1	2	3	4
ОПЭ1А, ОПЭ2 – електровоз управління, дизельна секція або моторний думпкара (к)	1900 / 30400	1200 / 19200	500 / 8000
Думпкара			
3BC50 (ч)	3200 / 25600	2000 / 16000	1000 / 8000
6BC60 (ч)	3700 / 29600	2300 / 18400	1100 / 8800
6BC60 (к)	2400 / 19200	1500 / 12000	700 / 5600
BC80, BC85 (ч)	4500 / 36000	2800 / 22400	1400 / 11200
BC80, BC85 (к)	3000 / 24000	1900 / 15200	900 / 7200
2BC85 (ч)	3500 / 42000	2200 / 26400	1100 / 13200
BC100 – 1 варіант (ч)	4200 / 50400	2700 / 32400	1300 / 15600
BC100 – 2 варіант (ч)	3600 / 43200	2200 / 26400	1100 / 13200
BC100 – 3 варіант (ч)	$\frac{4100}{1400}/44000$	$\frac{2600}{900}/28000$	$\frac{1300}{400}/13600$
BC100 – 3 варіант (к)	$\frac{2300}{800}/24800$	$\frac{1500}{500}/16000$	$\frac{700}{200}/7200$
2BC105 – 1 варіант (ч)	$\frac{3800}{800}/36800$	$\frac{2400}{500}/23200$	$\frac{1200}{300}/12000$
2BC105 – 1 варіант (к)	$\frac{2200}{500}/21600$	$\frac{1400}{300}/13600$	$\frac{700}{100}/6400$
2BC105 – 2 варіант	$\frac{7200}{2800}/80000$	$\frac{4500}{1800}/50400$	$\frac{2200}{900}/24800$
2BC105 – 3 варіант (ч)	$\frac{4100}{1600}/45600$	$\frac{2600}{1000}/28800$	$\frac{1300}{500}/14400$
2BC180 (к)	2200 / 35200	1400 / 22400	700 / 11200

Примітка. Над рисою наведені значення для крайніх осей тривісних візків думпкара, під рисою для середньої осі.

Натискання колодок в думпкарах слід уточнювати по конкретній модифікації.

Дійсна сила натискання гальмівних колодок на вісь для вагонів колії 750 мм приймається за Правилами тягових розрахунків для поїзної роботи (т. 37)

Питома гальмівна сила b_r , Н/т, при колодковому гальмуванні визначається за формулою:

$$b_r = \frac{B_r}{(P+Q)}, \quad (5.3)$$

де B_r – повна гальмівна сила поїзда, Н;
 P – розрахункова маса локомотива, т;
 Q – маса состава (вагонів), т.

В процесі гальмування повне значення гальмівної сили не може бути реалізовано миттєво. Поступовість процесу наповнення гальмівних циліндрів спрощено можна враховуватися через час підготовки гальм до дії в секундах, що обчислюється за формулою:

$$t_{\text{п}} = d_1 - \frac{d_2 \cdot i_c}{b_r}, \quad (5.4)$$

де d_1, d_2 – коефіцієнти, що приймаються за таблицею 5.4;
 i_c – спрямлений ухил (в профілі та плані) для врахування питомого опору.

Таблиця 5.4

Значення коефіцієнтів для визначення часу підготовки гальм до дії

Характеристика складу (вагонів)	d_1	d_2
Кількістю 200 осей і менш	7	10,0
Понад 200 до 300 осей	10	15,0
Понад 300 осей	12	18,0
Короткі склади з декількох вагонів:		
– в літній період	3	5,0
– у зимовий період при температурі повітря нижче 10 °С	4	6,5
Рухомий склад колії 750 мм	5	7,0

Для промислового транспорту гальмівні розрахунки рекомендується виконувати за методом чисельної інтеграції з урахуванням поступовості наповнення гальмівних циліндрів. При цьому значення розрахункової сили натискання гальмівних колодок K_t , Н, залежить від часу, який пройшов від початку гальмування $t_{\text{п}}$ в секундах, і визначається добутком дійсної сили натискання гальмівних колодок K , Н, на коефіцієнт наповнення гальмівних циліндрів k_t . Значення коефіцієнта k_t для відповідних умов приймається за таблицям 5.5–5.7 або за формулою (5.5).

Таблиця 5.5

Значення коефіцієнта k_t для рухомого складу загального призначення

Час від початку гальмування $t_{п}$, с	Екстрене гальмування		Повне службове гальмування	
	у разі довжини складу поїзда, м			
	500	800	500	800
0 – 3	0,00	0,00	0,00	0,00
3 – 6	0,20	0,15	0,15	0,02
6 – 9	0,45	0,35	0,40	0,25
9 – 12	0,65	0,50	0,60	0,45
12 – 15	0,80	0,65	0,75	0,60
15 – 18	0,90	0,75	0,85	0,70
18 – 21	0,95	0,85	0,90	0,80
21 – 24	0,98	0,95	0,95	0,90
24 – 27	1,00	0,98	1,00	0,95
27 – 30	—	1,00	—	0,98
30 – 33	—	—	—	1,00

Таблиця 5.6

Значення коефіцієнта k_t для промислового рухомого складу з пневматичними гальмами

Час від початку гальмування t_n , с	Чавуні колодки	Композиційні колодки
0 – 3	0,15	0,15
3 – 6	0,38	0,46
6 – 9	0,55	0,66
9 – 12	0,66	0,78
12 – 15	0,76	0,86
15 – 18	0,82	0,90
18 – 21	0,88	0,93
21 – 24	0,93	0,97
24 – 27	0,96	0,98
27 – 30	0,98	1,00
30 – 30,4	1,00	–

Для полегшення розрахунків за даними в таблицях 7.5–7.7 виведені залежності k_t від t_r і формула для визначення k_t має загальний вигляд:

$$k_t = a \cdot t_r^3 + b \cdot t_r^2 + c \cdot t_r, \quad (5.5)$$

де a , b , c – коефіцієнти, що приймаються по таблиці 5.8;
 t_r – час від початку гальмування, с.

Ця залежність діє в часі до виходу на повне значення натискання гальмівних колодок t_{r1} , після чого k_t дорівнюватиме 1.

Таблиця 5.7

Значення коефіцієнта k_t для промислового рухомого складу з електропневматичними гальмами

Час від початку гальмування $t_{п}$, с	Значення k_t
0 – 1	0,25
1 – 2	0,50
2 – 3	0,75
3 – 4	1,00

Таблиця 5.8

Величини коефіцієнтів, що входять у формулу (5.5)

Вид рухомого складу і гальмування	t_{r1} , с	a	b	c
Рухомий склад загального призначення, екстрене гальмування, довжина складу 500 м	27,0	–0,0000358	0,0005630	0,048
Теж, 800 м	30,0	–0,0000194	0,0000535	0,049
Рухомий склад загального призначення, службове гальмування, довжина складу 500 м	27,0	–0,0000191	–0,0003430	0,060
Теж, 800 м	33,0	–0,0000255	0,0007660	0,033
Промисловий рухомий склад з пневматичним гальмуванням та чавунними колодками	30,4	0,0000107	–0,0017300	0,076
Те ж, з композиційними колодками	30,0	0,0000237	–0,0025300	0,088
Промисловий рухомий склад з електропневматичним гальмуванням	4,0	0	0	0,250

У разі використання тягових агрегатів з магніторейковими гальмами під час екстреного гальмування слід враховувати додаткову гальмівну силу B_m , що визначається в залежності від швидкості за емпіричною формулою:

$$B_m = 21940 \cdot e^{-0,0184 \cdot V}, \quad (5.6)$$

де e – основа натурального логарифма;

V – швидкість руху поїзда, км/год.

Повне значення ця гальмівна сила набирає через час $t_{r1} = 4,6$ с після початку гальмування, тому в діапазоні часу t_r від 0 до 4,6 секунд значення помножити на $\frac{1}{4,6} \cdot t_r$. Питома гальмівна сила b_m в Н/т при використанні тягових агрегатів з магніторейковими гальмами визначається за формулою:

$$b_m = \frac{B_m}{(P+Q)}, \quad (5.8)$$

де B_m – повна гальмівна сила при магніторейковому гальмуванні, Н;

P – розрахункова маса локомотива, т;

Q – маса состава (вагонів), т.

Запитання до самоконтролю

1. Які гальма та на яких локомотивах застосовуються?
2. Аналіз впливу типу гальмівних колодок на дійсний коефіцієнт тертя.
3. Як впливає кількість осей состава на час підготовки гальм до дії?
4. Яким чином матеріал гальмівних колодок впливає на значення розрахункової сили натискання гальмівних колодок?
5. Особливості екстреного гальмування магніторейковими гальмами.

Сила тяги локомотивів

Залежність сили тяги локомотива від швидкості його руху визначається позицією контролера (для тепловозів), типом включення електродвигунів і обмеженням магнітного поля (для електровозів), коефіцієнтом зчеплення колеса та рейки. Для попередніх тягових розрахунків допускається використовувати розрахункові тягові, паливні та струмові характеристики, наведені в розділі 13.

На початкових ділянках тягових характеристик максимальне значення сили тяги обмежується, як правило, зчепленням рейки та колеса (величина $P_{зч}$). Значення коефіцієнта зчеплення ψ для різних типів локомотивів і умов експлуатації визначається за формулою:

$$\psi = a_{\psi} + \frac{b_{\psi}}{c_{\psi} + d_{\psi} \cdot V} - e_{\psi} \cdot V, \quad (6.1)$$

де a_{ψ} , b_{ψ} , c_{ψ} , d_{ψ} , e_{ψ} – коефіцієнти, що приймаються по таблиці 6.1;
 V – швидкість руху поїзда, км/год.

Таблиця 6.1

Величини коефіцієнтів, що входять у формулу (6.1)

Тип локомотива та умови	a_{ψ}	b_{ψ}	c_{ψ}	d_{ψ}	e_{ψ}
1	2	3	4	5	6
Тепловози промислового транспорту	0,25	8	100	20	0
Промислові електровози постійного струму					
на постійних коліях	0,225	7,2	100	20	0
на пересувних коліях	0,01	54	250	21	0

Продовження табл. 6.1

1	2	3	4	5	6
Промислові електровози змінного струму					
на під'їзних коліях	0,228	7	53	3	0
на постійних коліях	0,21	7	53	3	0
на пересувних коліях	0,01	54	250	21	0
Тепловози ТЭ10	0,118	4	22	1	0
Інші магістральні тепловози	0,118	5	27,5	1	0
Магістральний електровоз постійного струму	0,25	8	100	20	0
Магістральний електровоз змінного струму	0,28	4	50	6	$6 \cdot 10^{-3}$
Тепловози колії 750 мм	0,2	10	100	12	0

У разі руху локомотива на розрахунковому та найважчому підйомах при тепловозній тязі в кривих ділянках колії радіусом менше 800 м, а при електричній тязі – менше 500 м коефіцієнт зчеплення ψ знижується до значення ψ_R , яке визначається за формулою:

$$\psi_R = \psi \cdot \frac{h_\psi + m_\psi \cdot R}{n_\psi + z_\psi \cdot R}, \quad (6.2)$$

де h_ψ , m_ψ , n_ψ , z_ψ – коефіцієнти, що приймаються по таблиці 6.2;

ψ – коефіцієнт зчеплення;

R – радіус кривої, м.

Для вузької колії у формулі (6.2) замість другого множника, вираженого дробом, приймаються значення при радіусах, м: 200 – 0,91, 150 – 0,89, 125 – 0,87, 100 – 0,85, 75 – 0,82, 60 – 0,80, 40 – 0,75.

Таблиця 6.2

Величини коефіцієнтів, що входять у формулу (6.2)

Вид тяги і радіус кривої	h_ψ	m_ψ	n_ψ	z_ψ
Тепловозна тяга, радіус менше 800 м	0	3,50	400	3,0
Електрична тяга, радіус менше 500 м	250	1,55	500	1,1

Дотична сила тяги локомотива F_d в Н на ділянках обмеження по зчепленню визначається за формулами:

– для прямих ділянок колії

$$F_d = P_{зч} \cdot \psi, \quad (6.3)$$

де $P_{зч}$ – зчіпна вага локомотива, Н;

ψ – коефіцієнт зчеплення;

– для кривих ділянках колії (з урахуванням умов в (6.3))

$$F_d = P_{зч} \cdot \psi_R, \quad (6.4)$$

де ψ_R – коефіцієнт зчеплення в кривих ділянках колії.

Зчіпна вага маневрових локомотивів, якщо це конструктивно передбачено, може бути збільшена за рахунок укладання спеціальних плит, та інших тягових засобів – за рахунок маси вантажу, що перевозиться.

Експлуатація тепловозів повинна проводитися на швидкостях вище швидкості виходу (на даній позиції контролера) на автоматичну характеристику V_a яка визначається за формулою:

$$V_a = \frac{0,367 \cdot \eta \cdot N}{9,81 \cdot \psi_t \cdot P}, \quad (6.5)$$

де η – коефіцієнт наближення реальної тягової характеристики тепловоза до ідеальної;

N – потужність локомотива, кВт;

ψ_t – коефіцієнт тяги для тепловозів;

P – розрахункова маса локомотива, т.

Коефіцієнт тяги ψ_t для середніх умов експлуатації приймається в розмірі 0,14 у разі електричної передачі та 0,19 – у разі гідравлічної, а у разі чистих рейках відповідно 0,18 і 0,25. Коефіцієнти наближення реальної тягової характеристики тепловоза до ідеальної η , значення V_a і N для тепловозів, що застосовуються на промисловому

транспорті в нормальних умовах експлуатації, наведені в таблиці 6.3. У цій же таблиці наведені значення розрахункової маси P і максимальної конструкційної швидкості V_{max} тепловозів.

Дотична сила тяги тепловоза F_d для автоматичної характеристики може визначатися за формулою:

$$F_d = 9,81 \cdot \frac{367 \cdot \eta \cdot N}{V}. \quad (6.6)$$

Питома дотична сила тяги в f_k Н/т визначається за формулою:

$$f_d = \frac{F_d}{(Q+P)}. \quad (6.7)$$

Таблиця 6.3

Значення параметрів, що входять у формулу (6.5)

Серія тепловоза	P , т	η	V_a , км/год	N , кВт	V_{max} , км/год
ТГК2	28	0,58	4,0*	162	60
ТГМ1	46	0,60	4,0*	294	60
ТГМ23	44	0,60	6,5*	368	60
ТГМ3А	68	0,62	8,5	552	70
ТГМ4	80	0,63	5,0*	552	55
ТГМ6А	90	0,64	5,0*	883	80
ТЭМ1	120	0,70	9,0	736	90
ТЭМ2	120	0,70	11,0	883	100
ТЭ3 – 1 секція	127	0,70	20,5	1472	100
ТЭМ7	180	0,73	10,3	1472	100
ТЭ10Л – 1 секція	130	0,75	23,4	2208	100

Примітка. * у маневровому режимі.

Зчіпний вага $P_{зч}$ локомотивів колії 750 мм становити, тс: ТУ2 – 31,75, ТУ3 – 32,9, ТУ4 – 20, ТУ5 – 24; максимальна швидкість 50 км/год

У разі експлуатації тепловозів і тягових агрегатів з дизельними двигунами в атмосферних умовах, що відрізняються від стандартних (температура зовнішнього повітря $t_{зп} = 20$ °С і вище, атмосферний тиск $H_{бар}$ нижче 1013 гПа (760 мм рт. ст.)), слід враховувати зниження сили тяги локомотивів коефіцієнтом k_a , що визначається за формулою:

$$k_a = 1 - k_m - k_p, \quad (6.8)$$

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

k_p – коефіцієнт, що враховує зниження потужності дизеля від зміни атмосферного тиску.

Значення коефіцієнтів k_m та k_p приймаються за таблицею 6.4.

Розрахункові атмосферні умови для літнього та зимового періодів встановлює транспортний підрозділ підприємства.

Таблиця 6.4

Величини коефіцієнтів, що входять у формулу (6.8)

Тип дизеля	Серія тепловоза	k_m при $t_{зп}, ^\circ\text{C}$			k_p при $H_{бар}, \text{ГПа (мм рт. ст.)}$				
		≤ 20	30	40	906 (680)	933 (700)	960 (720)	987 (740)	1013 (760)
2Д50	ТЭМ1	0	0,030	0,060	0,061	0,046	0,030	0,015	0
М753	ТГМЗ	0	0,017	0,034	0,045	0,034	0,022	0,011	0
2Д100	ТЭЗ, ТЭ7	0	0,045	0,090	0,105	0,078	0,051	0,025	0
2Д100, 11Д45,Д50	ТЭ1, ТЭ2, ТЭ10	0	0,050	0,100	0,115	0,086	0,057	0,028	0

У разі експлуатації локомотивів з великим терміном служби або нових з урахуванням їх зносу в перспективі транспортним підрозділом підприємства може встановлюватися понижувальний коефіцієнт, що враховує зниження потужності дизеля (зниження сили тяги). У попередніх розрахунках цей коефіцієнт може бути прийнятий 0,95.

Запитання до самоконтролю

1. Якими факторами визначається сили тяги локомотива.
2. Аналіз впливу швидкості руху на коефіцієнт зчеплення рейки та колеса.
3. Особливості визначення дотичної сили тяги тепловоза за різних режимів руху.

Визначення маси складу поїзда

Масу состава поїзда Q у тонах у разі тепловозної тяги визначається за умови руху поїзда з постійною розрахунковою-мінімальною швидкістю на розрахунковому (керівному) ухилі на підйомі за формулою:

$$Q = \frac{9,81 \cdot \frac{367 \cdot \eta \cdot N}{V_p} - (\omega'_0 + i_p + \omega_{r0} + \omega_{нт} + \omega_B + \omega_{вв} + \omega_{ск}) \cdot P}{\omega''_0 + i_p + \omega_{r0} + \omega_{нт} + \omega_B + \omega_{вв} + \omega_{ск}}, \quad (7.1)$$

де η – коефіцієнт наближення реальної тягової характеристики тепловоза до ідеальної;

N – потужність локомотива, кВт;

V_p – розрахунково-мінімальна швидкість руху локомотива, км/год;

ω – питомі опору руху по розділах 2 і 3 (з відповідними індексами), Н/т;

i_p – розрахунковий (керівний) ухил на підйомі Н/т, (‰);

P – розрахункова маса локомотива, т.

В спрощеному вигляді:

$$Q = \frac{9,81 \cdot \frac{367 \cdot \eta \cdot N}{V_p} - P}{\omega''_0 + i_p + \omega_{r0} + \omega_{нт} + \omega_B + \omega_{вв} + \omega_{ск}}. \quad (7.2)$$

Значення V_p для тепловозів у формулах (7.1, 7.2) приймається не менше швидкості виходу на автоматичну характеристику V_a . Значення ω приймаються для швидкості V_p .

Можливість застосування більшої маси складу поїзда або великих ухилів за рахунок використання кінетичної енергії поїзда слід

перевіряти тяговими розрахунками.

Маса состава Q у разі електровозної тяги визначається за умови руху поїзда з постійною розрахунково-мінімальною швидкістю V_p на керівному підйомі i_p за формулою:

$$Q = \frac{F_{др} - (\omega'_0 + i_p + \omega_{r0} + \omega_{нт} + \omega_B + \omega_{вв} + \omega_{ск}) \cdot P}{\omega''_0 + i_p + \omega_{r0} + \omega_{нт} + \omega_B + \omega_{вв} + \omega_{ск}}, \quad (7.3)$$

де $F_{др}$ – величина розрахункової дотичної сили тяги локомотива за розрахунково-мінімальну швидкість, Н.

Значення розрахункової маси, розрахунково-мінімальної швидкості руху, розрахункової дотичної сили тяги та інші параметри електровозів наведені в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1

Параметри електровозів

Серія електровоза	Струм	P , т	V_p , км/год	$F_{др}$, Н	V_{max} , км/год	Струм годинний, А	Струм тривалий, А
IV КП	пост.	80	20,2	180500	70	280	235
ЕЛ2	пост.	100	28,0	225600	65	250	205
ЕЛ1	пост.	150	28,0	338400	65	250	205
13Е и 21Е	пост.	150	25,6	338400	65	190	148
26Е2М	пост.	180	25,5	407100	65	304	264
ПЭ2М	пост.	368	28,0	814200	65	335	300
ПЭ1	пост.	368	28,0	814200	65	335	300
ПЭ3Т	пост.	372	26,5	961400	65	335	300
Д94	змін.	94	25,0	245300	85	380	340
Д100М	змін.	100	26,5	255100	70	315	265
НП1	змін.	368	25,0	1049700	65	–	–
ЕЛ10	змін.	360	23,0	922100	65	500	445
ОПЭ1	змін.	360	27,0	922100	65	560	476
ОПЭ2	змін.	368	25,4	961400	65	330	300
ОПЭ1А	змін.	372	25,0	941800	65	330	300

Під час перевірки масу состава слід вважати визначеною, якщо швидкість руху в кінці підйому, що перевіряється, вийшла рівною або трохи більше розрахункової швидкості для даної серії локомотива. В

окремих випадках для експлуатованих колій в залежності від місцевих умов дозволяється вихідну швидкість зі швидкісних підйомів знижувати (в залежності від виду тяги та серії локомотива), але у всіх випадках протяжність шляху, що проходить зі швидкістю меншою, ніж розрахункова, не повинна перевищувати 500 м. Відступ від цієї величини може бути допущено з дозволу керівництва підприємства за наявності резервів пропускної здатності та дотриманні встановлених норм по нагріванню тягових електричних машин.

Отриману масу состава поїзда слід перевіряти на рушення з місця, на не перевищення довжиною поїзда довжини приймально-відправних колій, а також на перегрів тягових електродвигунів.

Під час виконання тягових розрахунків слід враховувати те, що маса состава (кількість вагонів) на металургійних та інших виробництвах повинна задовольняти технології виробництва – масі вантажу в одночасній подачі (наприклад, при завантаженні шихти), кількості вагонів під злив рідких вантажів (наприклад, чавуну, шлаку) і т. п. Для небезпечних вантажів і виробництв необхідно також враховувати постановку до состава вагонів прикриття.

Перевірка маси складу поїзда Q на зрушення з місця виконується за умови:

– для рухомого складу загального призначення

$$Q \leq \frac{F_{зр}}{\omega_{зр}} - P, \quad (7.4)$$

де $F_{зр}$ – розрахункове значення дотичної сили тяги локомотива при зрушенні поїзда з місця, Н;

$\omega_{зр}$ – питомий опір руху поїзда при зрушенні з місця, Н/т (за розділом 4).

– для промислового рухомого складу

$$Q \leq \frac{F_{зр}}{100 \cdot a + \omega_{зр}} - P, \quad (7.5)$$

де a – прискорення поїзда при зрушенні з місця, м/с^2 . Приймається рівним 0,05 у разі вивізної роботи та 0,10 у разі маневрової роботи.

Для кар'єрного транспорту необхідно забезпечити зрушення поїзда з місця на розрахунковому (керівному) ухилі на підйомі.

Значення сили тяги локомотива під час зрушення з місця за нормальні умови експлуатації приймається за таблицею 7.2.

Таблиця 7.2

Значення сили тяги локомотива під час зрушення з місця

Серія локомотива	$F_{зр}$, Н	Серія локомотива	$F_{зр}$, Н	Серія локомотива	$F_{зр}$, Н
ТГК2	82 400	II КП	103 000	НП1	1 177 200
ТГМ1	135 400	IV КП	196 200	ЭЛ10	1 177 200*
ТГМ23	129 500	ЭЛ2	294 300	ОПЭ1	1 177 200*
ТГМ3А	219 700	ЭЛ1	441 450	ОПЭ2	1 177 200*
ТГМ4	235 40	13Э и 21Э	441 450	ОПЭ3, 4	80 000*
ТГМ6	259 900	26Э2М	529 700	ОПЭ1А	1 177 200*
ТЭМ1	347 200	ПЭ2М	1 079 100*	Колія 750 мм	
ТЭМ2	347 200	ПЭ1	1 079 100*	ТУ2, ТУ3	83 300
ТЭМ7	494 400	ПЭ3Т	1 177 200*	ТУ4	52 900
ТЭ3 – 1 секція	285 500	Д94	313 900*	ТУ5	70 600
ТЭ10Л – 1 секція	374 700	Д100м	323 700		

Примітка * значення наведені при повному навантаженні моторних думпкарів

Корисна довжина приймально-відправних колій повинна бути більше довжини поїзда з урахуванням неточності його установки та можливості сприйняття сигналу машиністом.

Корисна довжина залізничної колії – частина колії, обмежена:

– за наявності світлофорів та електричної ізоляції залізничної колії: з одного боку – вихідним (маршрутним, маневровим) світлофором, з іншого – ізолюючим стиком колійної ділянки рейкового ланцюга;

– за відсутності світлофорів (за наявності групових вихідних світлофорів) та електричної ізоляції залізничної колії – ізолюючими стиками колійної ділянки рейкового ланцюга;

– за наявності світлофорів та відсутності електричної ізоляції залізничної колії: з одного боку – світлофором, з іншого – граничним стопчиком;

– за відсутності світлофорів та електричної ізоляції залізничної колії – граничними стовпчиками з обох сторін.

Довжини локомотивів і вагонів наведені в таблиці 7.3.

Таблиця 7.3

Довжини локомотивів і вагонів

Рухомий склад	Довжина одиниці, м
ТГК2	9,0
ТГМ1	10,0
ТГМ23	9,0
ТГМ3	13,0
ТГМ4	12,6
ТГМ6	14,0
ТГМ40	11,3
ТЭМ1, ТЭМ2, ТЭМ3, ТЭ3 – 1 секція, ТЭ10Л – 1 секція	17,0
ТЭМ7	22,0
ТЭМ12	16,0
II КП	11,0
IV КП	12,2
ЭЛ2	13,8
ЭЛ1	21,3
13Э, 21Э	22,0
26Э2М	21,5
ПЭ2М, ПЭ1, ПЭ3Т	51,3
Д94	16,4
ЭЛ10	52,3
ОПЭ1	55,2
ОПЭ2, ОПЭ1А, ОПЭ1Б	51,3
Восьмивісний напіввагон магістральний	20,0
Чотиривісний вагон магістральний (напіввагони и платформи)	14,0
Чотиривісна цистерна и думпкари магістральний	12,0
Думпкари ЗВС50, 6ВС60, ВС85	12,0
Думпкари ВС80, ВС82	14,0
Думпкари ВС100	16,0
Думпкари 2ВС105	15,0
Думпкари 2ВС140, 2ВС180	17,6

Примітка *довжини одиниць рухомого складу рекомендується уточнювати під час вибору конкретної модифікації

Перевірка маси состава поїзда на перегрів тягових електродвигунів локомотива проводиться під час виконання тягових розрахунків.

Запитання до самоконтролю

- 1. Аналіз впливу параметрів тепловоза на величину маси состава поїзда.*
- 2. За якою швидкістю визначається маса состава?*
- 3. Яку протяжність шляху на швидкісному підйомі дозволяється долати зі швидкістю меншою, ніж розрахункова?*
- 4. За якими умовами перевіряється розрахункова маса состава?*
- 5. Умова перевірки розрахункової маси состава на зрушення з місця. Особливості такої перевірки для кар'єрного транспорту.*
- 6. Умови визначення протяжності корисної довжини залізничної колії.*
- 7. На яких етапах виконуються перевірки розрахункової маси состава?*

Обмеження швидкості та розв'язання гальмівної задачі

Отримані за тяговими розрахунками швидкості руху поїздів повинні забезпечувати зупинку поїзда наявним гальмівним обладнанням в будь-який момент часу без перевищення розрахункової довжини гальмівного шляху та не повинні перевищувати наступні максимальні швидкості в нормальних умовах:

- 80 км/год – по коліях категорії I-п; 40 км/год – по коліях категорії II-п;
- 25 км/год – по коліях категорії III-п та пересувним з'єднувальним коліям;
- 10 км/год – по з'єднувальним коліям;
- 5 км/год – по вантажно-розвантажувальним коліям;
- 3 км/год – по ремонтним і відстійним коліям та при в'їзді в будівлі.

Крутизна спусків в межах підходів до вантажно-розвантажувальних фронтів під час руху поїзда (подачі) вагонами вперед з вимкненими гальмівними засобами вагонів визначається гальмівними розрахунками. При цьому повинна бути забезпечена зупинка вагонів гальмівними засобами локомотива перед фронтом за швидкістю руху на початку гальмування 25 км/год. У важких умовах допускається швидкість на початку гальмування приймати 15 км/год, а в особливо важких умовах – 10 км/год.

Крім того, за умовами забезпечення безпеки руху слід враховувати допустимі швидкості руху по кривих в залежності від радіуса та підвищення зовнішньої рейки, по стрілочним переводам в залежності від їх конструкції, за навантаженням на мостові споруди, а також конструкційні швидкості руху рухомого складу, а для спеціального рухомого складу – швидкості, встановлені правилами технічної експлуатації.

На промисловому транспорті швидкість поїзда і його гальмівне обладнання повинні забезпечити зупинку поїзда на відстані, що не перевищує 300 м.

Отримані швидкості руху в кривих ділянках колії необхідно порівняти з максимально допустимими швидкостями, отриманими під час розрахунку параметрів кривих, а також з мінімально допустимими швидкостями руху вантажних поїздів та у разі необхідності уточнити тягові розрахунки.

У разі перевищення максимально допустимих швидкостей в кривих в тягових розрахунках слід задати обмеження швидкості, а якщо мінімально допустимі швидкості вантажних поїздів (в тому числі розрахунково-мінімальна швидкість для певного локомотива) не досягнуті – знизити масу поїзда або збільшити силу тяги (прийняти більш потужний локомотив, застосувати подвійну (кратну) тягу або підштовхування). Також в цих випадках можуть бути переглянуті параметри плану та поздовжнього профілю колії, а також застосовані різні маси поїздів в парному та непарному напрямках з урахуванням раціональності прийнятих проектних рішень – за оптимальними техніко-економічними показниками.

Визначення максимально допустимих швидкостей руху за умовами гальмування рекомендується виконувати чисельною інтеграцією за допомогою програмних засобів, що підвищують точність і достовірність розрахунків, а також значно скорочують трудовитрати.

Прийнявши, що в інтервалі часу Δt рівнодіюча сила не змінюється, зменшення швидкості ΔV під час гальмування можна визначити за формулою:

$$\Delta V = \frac{r}{30}, \quad (8.1)$$

де r – загальна питома гальмівна сила поїзда, Н.

Значення r в Н/т визначається сумою питомої гальмівної сили поїзда b_r і питомої гальмівної сили, яка реалізується магнітнорейковими гальмами b_m) і приймається для початкової швидкості V_{π} . Після визначення ΔV обчислюється інтервал пройденого шляху ΔS у метрах за формулою:

$$\Delta S = \frac{V_{\pi} - \frac{\Delta V}{2}}{3,6}. \quad (8.2)$$

Розрахунки повторюються до моменту, коли $V_{\text{п}} - \Delta V \leq 0$. Таким чином обчислюється шлях S , який пройде поїзд від початку гальмування до зупинки. Змінюючи початкову швидкість, знаходять її значення, за яким повний шлях гальмування не перевищить 300 м. Виконавши розрахунки за декількома значеннями ухилів, отримують залежність максимальної швидкості за умовами гальмування від ухилу.

Розрахунки рекомендується виконувати для всього діапазону ухилів, поки початкова швидкість не перевищить конструкційну швидкість рухомого складу.

Після введення вихідних даних і обчислень в розрахунок знаходять момент досягнення нульової швидкості i , змінюючи початкове значення швидкості, знаходять таку її величину, за яку шлях гальмування досягне, але не перевищить 300 м.

Результати залежності швидкості від ухилу, за якими шлях гальмування не перевищує 300 м, заносять в таблицю і будують за цими даними графік $V = f(i)$. Додавши на графіку лінію тренду (лінійна апроксимація), отримують її формулу – коефіцієнти апроксимації, які використовуються під час виконання тягового розрахунку (наприклад, $y = 0,6429i + 52,89$, тобто використовується формула обмеження максимальної швидкості $V_{\text{max}} = a_{\text{max}} i + b_{\text{max}} = 0,6429i + 52,89$).

Для руху поїзда в прямому та зворотному напрямках розрахунки виконуються окремо, оскільки значення маси вагонів і відповідний їй опір руху відрізняються.

Приблизний алгоритм гальмівних розрахунків в допомогу розробленої програми наведено в Додатку Г.

Приклад визначення допустимих швидкостей руху за допомогою Microsoft®Office Excel наведено в Додатках Д–Ж. У наведеному прикладі також наочно відображено алгоритм розрахунку.

Запитання до самоконтролю

1. *Аналіз припустимих швидкостей руху у залежності від категорії колії.*
2. *Аналіз факторів, що обмежують швидкість руху за умови гальмування.*
3. *Який шлях гальмування на промисловому транспорті повинно забезпечувати гальмівне обладнання?*

Підготовка поздовжнього профілю до виконання розрахунків

Під час спрямлення профілю, якщо не використовується спеціалізована комп'ютерна програма, об'єднуються суміжні елементи профілю та враховується опір від кривих. Об'єднуються тільки елементи з близькими за значенням ухилами одного знаку. Допускається поєднувати елементи, якщо різниця між дійсним і спрямленим елементами профілю по висоті не перевищує 2 м.

У разі використання програмних засобів тягові розрахунки для умов промислового транспорту (пилкоподібний профіль, неможливість спрямленню профілю за встановленими Правилами, в тому числі на роздільних пунктах) рекомендується вести ділянками (кроками) інтегрування, що враховують всі переломи в поздовжньому профілі, а також початок і кінець кривих в плані, тобто безпосередньо використовувати фактичні дані. Крім забезпечення підвищеної точності та виключення підготовчих розрахунків, в цьому випадку також виключаються помилки, які можуть бути допущені під час спрямлення профілю з урахуванням кривих в плані, а також спрощується перевірка вихідних даних, що вводяться в розрахунки.

Спрямлений ухил профілю i_c в ‰ (на підйомі зі знаком «+», на спуску зі знаком «-») для n об'єднаних елементів визначається за формулою:

$$i_c = \sum_{j=1}^n (i_j \cdot l_j) / \sum_{j=1}^n l_j, \quad (9.1)$$

де i_j – ухили на елементах профілю, ‰;

l_j – довжини відповідних ухилів елементів профілю, м.

Довжина спрямленої ділянки профілю l_c приймається рівною

загальній довжині елементів, що були спрямлені. Для кожного з елементів, які об'єднуються, має виконуватися умова $l_j \cdot |l_j - l_c| \leq 2000$.

Для кожної кривої, яка припадає на спрямлену ділянку профілю (враховуючи і криві на стрілочних переводах), обчислюється додатковий ухил Δi_c в ‰, віднесений до спрямленої ділянці, за формулою:

$$\Delta i_c = \frac{700}{R} \cdot \frac{S_{кр}}{l_c} \cdot k_s, \quad (9.2)$$

де R – радіус кривої, м;

$S_{кр}$ – довжина кривої, м;

l_c – довжина спрямленої ділянки профілю, м;

k_s – коефіцієнт на опір від повороту візків екіпажів, що вводиться при наявності кривих малого радіуса (для колії 1520 мм не більше 700 м, для колії 750 мм не більше 425 м), спрямованих в різні боки (S -образних або зворотних кривих), що приймається при безпосередньому стикуванні кривих або відстані між ними менше $1/3$ довжини поїзда: у разі двох різноспрямованих кривих – 1,1, у разі трьох різноспрямованих кривих – 1,26, у разі чотирьох різноспрямованих кривих – 1,5, а у разі відстані між кривими до $1/2$ довжини поїзда – відповідно 1,05, 1,13 та 1,25.

Довжина кривої $S_{кр}$ при наявності перехідних кривих приймається за вирахуванням із сумарної довжини кривої половини суми довжин перехідних кривих. Якщо на ділянці спрямлення розташована тільки частина кривої, $S_{кр}$ приймається рівною цій частині.

З огляду на те, що опір від кривих завжди має позитивне значення, спрямлений профіль створюється окремо для прямого та зворотного напрямків руху. Повний спрямлений ухил визначається алгебраїчно сумою i_c та Δi_c .

Запитання до самоконтролю

1. У чому полягає підготовка поздовжнього профілю до виконання розрахунків?
2. Порядок спрямлення та перевірки поздовжнього профілю.

Визначення швидкості, часу та енерговитрат на рух поїзда

Визначення швидкості, часу та енерговитрат на рух поїзда рекомендується виконувати чисельним інтегруванням з кроком по пройденому шляху ΔS за допомогою програмних засобів, що підвищують точність і достовірність розрахунків, а також значно скорочують трудовитрати.

У разі зрушення та розгоні поїзда на підйомі та в пунктах, за якими розташований важкий підйом, має забезпечуватися збільшення швидкості або рух зі сталою швидкістю, що відповідає режимам роботи локомотивів; при цьому допускається на відстані не більше 500 м зниження швидкості руху не більше 3 км/год з подальшим її збільшенням, що не викликає перегрів обмоток тягових електричних машин локомотива.

Для розрахунків швидкості в тяговому режимі використовуються формули:

– ΔV у разі спрямлення профілю

$$\Delta V = \sqrt{V_{\text{п}}^2 + 0,24 \cdot (f_{\text{д}} - (\omega - \omega_i - \omega_{r0}) - i_{\text{с}} - \Delta i_{\text{с}}) \cdot \Delta S - V_{\text{п}}}; \quad (10.1)$$

– ΔV без спрямлення профілю

$$\Delta V = \sqrt{V_{\text{п}}^2 + 0,24 \cdot (f_{\text{д}} - \omega) \cdot \Delta S - V_{\text{п}}}; \quad (10.2)$$

$$V_{\text{к}} = V_{\text{п}} + \Delta V; \quad (10.3)$$

$$\Delta t = \frac{60 \cdot \Delta S}{500 \cdot (V_{\text{п}} + V_{\text{к}})}, \quad (10.4)$$

- де ΔV – інтервал зміни швидкості, км/год;
 $V_{\text{п}}$ – швидкість поїзда на початку кроку інтегрування, км/год;
 $f_{\text{д}}$ – питома дотична сила тяги локомотива, яка визначається за формулою (6.5), Н/т;
 ω – питомий опір руху поїзда в тяговому режимі, що визначається за формулою (4.2), Н/т;
 ω_i – додатковий питомий опір руху від ухилу, що визначається за формулою (3.1), Н/т;
 ω_{r0} – додатковий питомий опір руху по кривій, що визначається за формулою (3.2), Н/т;
 $i_{\text{с}}$ – спрямлений ухил профілю, який визначається за формулою (9.1) в Н/т, (‰);
 $\Delta i_{\text{с}}$ – додатковий ухил від кривих, віднесений до спрямленої ділянки, який визначається за формулою (9.2) в Н/т, (‰);
 ΔS – пройдений шлях на кроці інтегрування, м;
 $V_{\text{к}}$ – швидкість поїзда в кінці кроку інтегрування, км/год;
 Δt – час руху на кроці інтегрування, хв.

Для розрахунків швидкості в режимі службового гальмування (розрахунок у зворотному напрямку – від місця зупинки поїзда) використовуються формули:

– ΔV у разі спрямлення профілю

$$\Delta V = \sqrt{V_{\text{п}}^2 + 0,24 \cdot (k_{\text{сг}} b_{\Gamma} + (\omega - \omega_i - \omega_{r0}) + i_{\text{с}} + \Delta i_{\text{с}}) \cdot \Delta S - V_{\text{п}}}; \quad (10.5)$$

– ΔV без спрямлення профілю

$$\Delta V = \sqrt{V_{\text{п}}^2 + 0,24 \cdot (k_{\text{сг}} b_{\Gamma} + \omega) \cdot \Delta S - V_{\text{п}}}; \quad (10.6)$$

$$V_{\text{к}} = V_{\text{п}} + \Delta V; \quad (10.7)$$

$$\Delta t = (60 \cdot \Delta S) / \left[1000 \cdot \left(V_{\text{п}} + \frac{\Delta V}{2} \right) \right], \quad (10.8)$$

де k_{cr} – коефіцієнт використання гальмівної сили під час службового гальмування. У разі застосування повного службового гальмування приймається 0,8, у разі передбачених зупинок на роздільних пунктах – 0,5;

b_r – питома гальмівна сила поїзда, Н/т, визначається за формулою (5.3).

У разі обмеження швидкості слід визначити необхідну для її забезпечення обмежену силу тяги F_k в Н за формулою:

– у разі випрямлення профілю

$$F_d = (P + Q) \cdot (\omega - \omega_i - \omega_{r0} + i_c + \Delta i_c); \quad (10.9)$$

– без випрямлення профілю

$$F_d = (P + Q) \cdot \omega. \quad (10.10)$$

У разі від’ємних величинах F_d приймається з нульовим значенням.

Механічна робота локомотива R_m в МДж визначається підсумовуванням добутків сили тяги локомотива F_d в Н на інтервали шляху ΔS в м, пройдені в тяговому режимі, за формулою:

$$R_m = \frac{\sum (9,81 \cdot F_d \cdot \Delta S)}{1000000}. \quad (10.11)$$

Визначення механічної роботи та витрат палива або електроенергії проводиться їх підрахунком на кожному інтервалі.

Для спрощення розрахунків (особливо при неповному використанні сили тяги) можна попередньо визначити лінійну залежність споживаної електровозом сили струму I в А від сили тяги F_d в Н, побудувавши графік залежності та лінію тренду з формулою, отриманої у вигляді:

$$I = a_I \cdot F_d + b_I, \quad (10.12)$$

де a_I і b_I – коефіцієнти лінійної апроксимації.

Годинні витрати палива $g_{\text{п}}$ в кг/год за фіксованою потужністю двигуна є практично постійними та визначаються з довідкових даних. У разі обмеженого використання сили тяги (обмеження швидкості) годинні витрати палива визначаються за потужністю, яка відповідає встановленому положенню контролера.

Витрати палива G в кг або електроенергії A в кВт·год в тяговому режимі визначаються підсумовуванням цих витрат за інтервалами інтегрування за формулами:

$$G = \frac{\sum (g_{\text{п}} \cdot \Delta t)}{60}, \quad (10.13)$$

$$A = 1,17 \cdot \frac{\sum (n_d \cdot U_d \cdot I_d \cdot \Delta t)}{60}, \quad (10.14)$$

де $g_{\text{п}}$ – витрата палива в тяговому режимі за годину роботи, кг/год;

Δt – час руху на кроці інтегрування, хв;

n_d – кількість електродвигунів;

U_d – напруга електродвигуна, В;

I_d – струм, споживаний електродвигуном, А.

У розрахунках можна прийняти, що всі двигуни з'єднані паралельно, тоді сумарний струм, споживаний електродвигунами $n_d \cdot I_d$, буде дорівнює струму, споживаному локомотивом I і формула (10.14) набуває вигляду:

$$A = 1,17 \cdot \frac{\sum (U_d \cdot I \cdot \Delta t)}{60}. \quad (10.15)$$

Для електровозів змінного струму напруга на електродвигуні визначається для розрахункової позиції у вигляді лінійної залежності від струму двигуна, для постійного струму – приймається постійною і рівною напрузі в контактній мережі U .

Витрати палива $g_{\text{вп}}$ або електроенергії $a_{\text{вп}}$ на власні потреби визначаються за паспортними даними локомотивів або даними в розділі 13 і часом руху.

З достатньою точністю витрати палива G в кг та електроенергії A в кВт·ч можна визначати через механічну роботу локомотива R_m в МДж за формулами:

$$G = (0,8 \dots 0,85) \cdot R_m; \quad (10.16)$$

$$A = k_e \cdot R_m, \quad (10.17)$$

де k_e – коефіцієнт, що приймається 3,2 для постійного струму та 3,3 – для змінного струму.

Приклад тягового розрахунку, виконаного за допомогою Microsoft®Office Excel, наведено в Додатках Д–Ж. У наведеному прикладі також наочно відображений алгоритм розрахунку. Швидкість руху в прикладі не перевищує допустимих швидкостей по всіх положеннях розділу 8 і не знижується після розгону поїзда до величини меншої ніж швидкість виходу на автоматичну характеристику (V_a для тепловоза ТЭМ7 становити 10,3 км/год).

Керівних підйомів, де швидкість повинна бути не менше розрахункової, немає.

Для руху поїзда в прямому та зворотному напрямках розрахунки виконуються окремо, оскільки значення маси вагонів і відповідний їй опір руху відрізняються, а величина ухилів змінює знак. Також можуть бути зміни і додаткових опорів, наприклад, від вітру та у разі руху вагонами вперед або локомотивом в голові поїзда.

Приблизний алгоритм тягових розрахунків наведено в Додатку Г.

Запитання до самоконтролю

- 1. Порядок визначення швидкості та часу ходу з урахуванням спрямлення у режимах тяги та гальмування.*
- 2. Визначення величини механічної роботи локомотива.*
- 3. Особливості визначення витрат енергоресурсів на тягу для тепловозів та електровозів.*

Перевірка електродвигунів на перегрів

Перевірку на перегрів електричних машин тепловоза слід виконувати, керуючись побудованою кривою струму $I_r = f(S)$ і кривою часу $t = f(S)$. У тепловозів ТЭЗ і ЗТЭЗ на перегрів перевіряється обмотка якоря генератора, а у інших тепловозів та електровозів – обмотки якорів тягових електродвигунів.

Під час перевірки на перегрів криву струму розбивають на ряд відрізків, в кожному з них величину струму приймають постійною, рівною напівсумі початкового та кінцевого значення.

Для розрахунків по перевірці обмоток електромашин на нагрівання використовують таку формулу:

$$\tau = \tau_{\infty} \cdot \frac{\Delta t}{T} + \tau_0 \cdot \left(1 - \frac{\Delta t}{T}\right), \quad (11.1)$$

де τ – перевищення температури обмоток над температурою навколишнього середовища, °С;

τ_0 – початкове перевищення температури обмоток для розрахункового інтервалу часу, °С;

Δt – інтервал часу, в якому величина струму приймається постійною, хв;

τ_{∞} – перевищення температури обмоток електричної машини над температурою навколишнього повітря, що встановилося для даного значення середнього струму, °С;

T – теплова стала часу для даного значення струму, хв.

Для підвищення точності розрахунків інтервали часу Δt необхідно вибирати так, щоб виконувалось співвідношення

$$\frac{\Delta t}{T} \leq 0,1. \quad (11.2)$$

Розрахунок температури за формулою (11.1) ведуть шляхом ітерацій і починають з вихідного значення температури $\tau_0 = 20^\circ\text{C}$. Одержане на першому кроці значення τ підставляють замість τ_0 на другому кроці і т. п. При русі без струму $\tau_\infty = 0$ і температура обмоток буде знижуватись.

Результати розрахунків температури нагрівання обмоток тягових електричних машин зручно навести у вигляді таблиці 11.1.

Таблиця 11.1

Результати розрахунків температури нагрівання обмоток

Номер елемента	Середня швидкість, $V_{\text{сер}}, \text{км/год}$	Середній струм, $I, \text{А}$	Інтервал часу Δt , хв	Теплова стала часу, T , хв	Відношення $\Delta t/T$	Значення $\tau_\infty, ^\circ\text{C}$	Значення $\tau_\infty (\Delta t/T)$	Значення $\tau_0 (1 - (\Delta t/T))$	Температура обмоток $\tau, ^\circ\text{C}$

Після завершення розрахунків необхідно порівняти найбільшу одержану температуру перегріву обмоток тягових електричних машин з допустимою. При перевищенні температури над допустимою необхідно зменшити масу поїзда і повторити розрахунки. Допустимі температури нагрівання обмоток приведені в [5].

Слід зазначити, що струмові характеристики на відміну від теплових в [5] можуть бути наведені для всього локомотива (для електровоза в цілому або тепловозного генератора). В цьому разі для визначення розрахункових значень струму треба поділити ці значення на кількість паралельних гілок в залежності від схеми з'єднання тягових електродвигунів.

Наведена методика детального розрахунку перегріву обмоток електродвигунів виконується по досить складним залежностям, тому для перевірки електродвигунів на перегрів на промисловому транспорті можна використовувати спрощену методику, за якою на

найскладнішій ділянці необхідно визначити ефективний струм двигуна I_e в А за формулою:

$$I_e = \sqrt{\frac{\sum (I_k^2 \cdot \Delta t)}{t}}, \quad (11.3)$$

де I_k – струм, що споживають електродвигуни на певному кроці інтегрування, А;

Δt – час руху на певному кроці інтегрування, хв;

t – сумарний час руху на складній ділянці, хв.

Отримане значення струму порівнюється з 15- або 30-хвилинним струмом двигуна електровоза I_t . Якщо $I_e \leq (0,85 \dots 0,90) I_t$, то можна вважати, що перегріву електродвигунів не буде. При відсутності значень відповідного струму можна використовувати значення годинного струму, наведені в таблиці 7.1.

Запитання до самоконтролю

1. На основі яких залежностей відбувається перевірка на перегрів електричних машин?
2. Які тягові електричні машини перевіряються на перегрів?
3. Від яких параметрів залежить величина температури перегріву?
4. Припущення під час перевірки на перегрів електричних машин на промисловому транспорті.

Опір руху під час зрушення рухомого складу та гальмівні розрахунки для поїздів вузької колії

Основний питомий опір руху вантажних вагонів колії 750 мм визначають за формулами:

– для порожніх вагонів

$$\omega_0'' = 9,81 \cdot (1,2 + 0,02 \cdot V + 0,0017 \cdot V^2); \quad (12.1)$$

– для навантажених вагонів

$$\omega_0'' = 9,81 \cdot (1 + 0,04 \cdot V + 0,00032 \cdot V^2). \quad (12.2)$$

Основний питомий опір руху на холостому ходу тепловозів з гідравлічною передачею колії 750 мм визначають за формулою:

$$\omega_{\text{хгідр}} = 9,81 \cdot (4,3 \pm 0,2 \cdot V + 0,0007 \cdot V^2). \quad (12.3)$$

Значення ω'' та $\omega_{\text{хгідр}}$, підраховані за формулами (12.1)–(12.3), наведені в таблиці 12.1. Тут також дані значення питомого опору руху тепловозів ω' та $\omega_{0\text{х}}$ для колії 750 мм, взяті з експериментальних залежностей.

Додатковий питомий опір руху рухомого складу колії 750 мм від кривизни колії визначають за формулою:

$$\omega_r = 9,81 \cdot \frac{425}{R} \quad (12.4)$$

або

$$\omega_r = 9,81 \cdot \frac{7,5 \cdot \alpha^0}{S_{кр}}. \quad (12.5)$$

Додатковий питомий опір руху від наведеного ухилу, від низької температури і від вітру визначають аналогічно тому, як це викладено для рухомого складу колії 1520 мм.

Таблиця 12.1

Значення ω'' , $\omega_{хг\text{ідр}}$, ω' , $\omega_{0х}$ в Н/т для рухомого складу колії 750 мм

Формула або параметр	Величина опору для швидкості V , км/год				
	10	20	30	40	50
(12.1)	15,4	22,67	32,67	46,3	63,27
(12.2)	14,03	18,93	24,43	30,51	37,28
(12.3)	25,11	38,26	56,11	78,68	105,95
ω'	30,6	38,75	47,09	55,72	67,20
$\omega_{0х}$	49,05	60,63	76,81	94,37	119,68
(12.4)	62,49	84,17	107,22	131,65	157,45

Гальмівні нормативи для рухомого складу вузької колії визначаються за дійсними значеннями коефіцієнта тертя та сили натискання. Вихідною, для розрахунку гальмівних шляхів поїздів вузької колії, служить формула (8.2), але методика визначення величин, що входять до неї має такі особливості. Дійсні сили натискання гальмівних колодок вагонів вузької колії приймають за таблицею 12.2, а локомотивів – за таблицею 12.3.

Дійсний коефіцієнт тертя між чавунними гальмівними колодками і колесами рухомого складу вузької колії визначають за формулою:

$$\varphi_k = 0,45 \cdot \frac{K+10}{8K+10} \cdot \frac{25}{V+25}. \quad (12.6)$$

Для спрощення розрахунків і підвищення безпеки руху для всіх поїздів вузької колії приймають найменше значення коефіцієнта тертя, яке визначається за формулою, що відповідає навантаженому режиму гальмування вагонів:

$$\varphi_k = 0,26 \cdot \frac{25}{V + 25}. \quad (12.7)$$

Таблиця 12.2

Дійсні сили натискання чавунних гальмівних колодок вагонів колії 750 мм

Тип вагонів	Маса тари вагона, т	Сила натискання колодок на всі осі вагона, кН, при гальмуванні	
		автоматичному	ручному
Вантажні вагони:			
– криті чотиривісні	6,1 – 9,5		
вантажність 16,5 т на режимі:			
– навантажений		88,3	49,05
– порожній		39,24	–
– криті чотиривісні та піввагони	8 – 10		
вантажопідйомністю 20 т на режимі:			
– навантажений		98,1	58,86
– порожній		49,05	–
Платформи чотиривісні:	6,5 – 7,5		
– вантажопідйомністю 16,5 т на режимі:			
– навантажений		78,48	49,05
– порожній		39,24	–
– вантажопідйомністю 20 т на режимі:	7,5		
– навантажений		88,29	58,86
– порожній		49,05	–
Цистерни чотиривісні вантажопідйомністю 20 т на режимі	8 – 9		
– навантажений		78,48	49,05
– порожній		39,244	–

Таблиця 12.3

Дійсні сили натискання чавунних гальмівних колодок локомотивів і дизель-поїздів

Рухомий склад	Облікова маса, т	Сила натискання колодок на всі осі при гальмуванні, кН	
1	2	3	4
Тепловози			
ТУ2, ТУ3	32	15	8
ТУ4	18	12	2,5

Продовження табл. 12.3

1	2	3	4
ТУ5	24	16	2,5
ТГМ3, ТГМ7	64	24	4
ТГ16	138	48	8
Дизель-поїзди			
Моторний вагон	47	30	8
Причіпний вагон	38	22	8

Час підготовки автогальм до дії вантажних поїздів вузької колії знаходять за формулою

$$t_{\pi} = 5 - \frac{7 \cdot i_c}{1000 \cdot \delta \cdot \varphi_k}. \quad (12.8)$$

При ручному гальмуванні час підготовки приймається рівним 20 с.

Силу натискання гальмівних колодок локомотивів враховують тільки при проходженні резервом. Коефіцієнт тертя гальмівних колодок – за формулою (12.6).

Запитання до самоконтролю

1. Від яких параметрів залежить основний питомий опір руху вантажних вагонів колії 750 мм?
2. Особливості визначення додаткового питомого опору руху рухомого складу колії 750 мм від кривизни колії.

Тягові та інші характеристики локомотивів

Тягові характеристики локомотивів промислового транспорту, враховуючи вдосконалення обладнання, зміну розрахункової маси та зчіпної ваги, слід уточнювати за конкретними та достовірними характеристиками локомотивів, що знаходяться в експлуатації.

Для виконання тягових розрахунків допускається використовувати розрахункову залежність сили тяги від швидкості. Для тепловозів ця залежність після виходу на автоматичну характеристику виражається формулою (6.6) при стовідсотковому використанні потужності N .

В межах дії обмеження сили тяги по зчепленню залежність сили тяги від швидкості можна розраховувати за формулами (6.3, 6.4). У разі автоматизації тягових розрахунків можна вводити значення $F_{зр}$ і визначати значення сили тяги, обмеженої по зчепленню, за відповідними формулами.

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 [5]) представлена за 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 сил тяги та швидкості. Це ж відноситься і до випадків зміни зчіпної ваги за рахунок спеціальних плит або вантажу.

Залежність сили тяги від швидкості та інші дані наведені в таблиці 13.1.

Запитання до самоконтролю

1. Що являє собою тягова характеристика?
2. За яких умов представляється зчіпна вага локомотива?

Таблиця 13.1

Довідкові дані про тягові характеристики локомотивів

Тепловози							
ТГК2 (поїзний режим)							
V , км/год	0	0,5	15	30	40	50	60
$F_{д}$, Н	82400	58860	26500	12750	9300	6800	4900
$g_{п} = 40$ кг/год				$g_{вп} = 5,5$ кг/год			
ТГМ1 (поїзний режим)							
V , км/год	0	0,5	10	23	36	37	50
$F_{д}$, Н	135400	78500	55000	23500	22500	16700	15700
$g_{п} = 71$ кг/год				$g_{вп} = 7$ кг/год			
ТГМ23 (поїзний режим)							
V , км/год	0	0,5	10	25	36	37	60
$F_{д}$, Н	1270 400	818 154	649 400	367 900	31 400	20 600	18 600
$g_{п} = 89$ кг/год				$g_{вп} = 7$ кг/год			
ТГМ3А (поїзний режим)							
V , км/год	0	8,5	15	25	49,5	67,3	70
$F_{д}$, Н	117 700	117 700	85 500	51 000	27 000	22 400	8 730
$g_{п} = 135$ кг/год				$g_{вп} = 10$ кг/год			
ТГМ4 (поїзний режим)							
V , км/год	0	14	20	27	40	50	60
$F_{д}$, Н	235 400	181 500	133 400	90 200	65 700	51 000	37 300
$g_{п} = 126$ кг/год				$g_{вп} = 10$ кг/год			
ТГМ6 (поїзний режим)							
V , км/год	0	1	10	20	30	60	65
$F_{д}$, Н	260 000	2309 200	147 100	107 900	58 800	34 300	33 800
$g_{п} = 192$ кг/год				$g_{вп} = 11,5$ кг/год			
ТЭМ1							
V , км/год	0	5	11	22	40	60	90
$F_{д}$, Н	347 300	314 900	140 300	83 400	48 200	25 900	10 300
$g_{п} = 180$ кг/год				$g_{вп} = 11,5$ кг/год			
ТЭМ2							
V , км/год	0	7,1	15	25	40	60	100
$F_{д}$, Н	347 300	304 100	142 700	89 300	57 900	38 300	16 300
$g_{п} = 203$ кг/год				$g_{вп} = 11,5$ кг/год			
ТЭ3 – 1 секція							
V , км/год	0	13	20	30	50	70	100
$F_{д}$, Н	285 500	285 500	202 600	133 400	81 400	55 900	29 400
$g_{п} = 356$ кг/год				$g_{вп} = 27$ кг/год			

Продовження табл. 13.1

ТЭМ7							
V , км/год	0	7	15	25	35	60	100
F_d , Н	529 700	475 700	255 000	166 700	117 700	58 800	19 600
$g_{\Pi} = 306$ кг/год							
ТЭ10Л – 1 секція							
V , км/год	0	10	27,5	38	50	62,5	100
F_d , Н	374 700	304 100	215 800	162 800	123 100	98 100	59 800
$g_{\Pi} = 501$ кг/год				$g_{\text{вп}} = 23$ кг/год			
Тепловози колії 750 мм							
ТУ2							
V , км/год	0	5	10	15	25	35	50
F_d , Н	85 300	71 200	54 000	40 200	23 800	16 900	10 300
$F_{\text{др}} = 4650$ кгс, $V_p = 13$ км/год							
ТУ3							
V , км/год	0	5	12,5	15	25	35	50
F_d , Н	83 400	66 200	43 300	37 700	23 800	17 600	12 000
$F_{\text{др}} = 4420$ кгс, $V_p = 12,5$ км/год							
ТУ4							
V , км/год	0	0,5	10	15	25	35	50
F_d , Н	59 800	54 440	40 700	29 400	12 900	9 800	3 900
$F_{\text{др}} = 4500$ кгс, $V_p = 8$ км/год							
ТУ5							
V , км/год	0	5	10	15	25	35	50
F_d , Н	70 600	62 000	48 400	35 700	30 400	20 100	14 900
$F_{\text{др}} = 5750$ кгс, $V_p = 8$ км/год							
Електровоз постійного струму							
IV КП							
V , км/год	20	22	26	30	34	38	42
F_d , Н	176 600	117 700	64 700	35 300	21 500	14 700	10 800
$I = 0,0389 \cdot F_d + 78$				$a_{\text{вп}} = 25$ кВт·год/год			
ЭЛ2							
V , км/год	28	30	34	38	42	46	50
F_d , Н	225 600	174 600	107 900	68 700	49 000	39 200	31 400
$I = 0,0471 \cdot F_d + 212$				$a_{\text{вп}} = 33$ кВт·год/год			
ЭЛ1							
V , км/год	28	30	32	36	40	45	50
F_d , Н	333 500	255 000	202 000	131 400	87 300	56 900	45 100
$I = 0,0471 \cdot F_d + 308$				$a_{\text{вп}} = 60$ кВт·год /год			

Продовження табл. 13.1

13Э и 21Э							
V , км/год	26	28	32	34	38	42	50
F , Н	278 600	202 000	129 500	107 900	74 600	58 900	41 200
$I = 0,0481 \cdot F_{\text{д}} + 217$				$a_{\text{вп}} = \text{кВт} \cdot \text{год} / \text{год}$			
26Э2М							
V , км/год	28	30	32	36	40	44	50
F , Н	372 800	292 300	219 700	155 000	110 850	88 300	65 700
$I = 0,062 \cdot F_{\text{д}} + 134$				$a_{\text{вп}} = 60 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{год}$			
ПЭ2М (3000 В)							
V , км/год	28	30	32	35	40	44	50
F , Н	245 300	196 200	157 000	102 000	76 500	58 900	39 200
$I = 0,0251 \cdot F_{\text{д}} + 97$				$a_{\text{вп}} = 110 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{год}$			
ПЭ1 (1 секція)							
V , км/год	28	30	32	35	40	44	50
F , Н	245 300	196 200	157 000	102 000	76 500	58 900	39 200
$I = 0,0251 \cdot F_{\text{д}} + 97$				$a_{\text{вп}} = 110 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{год}$			
Електровоз змінного струму							
Д94							
V , км/год	30	35	40	45	50	60	70
F , Н	240 300	171 700	127 500	98 100	78 500	49 000	24 500
$I = 0,015 \cdot F_{\text{д}} + 80$			$U_d = 1,39 - 0,0005 \cdot I_d$			$a_{\text{вп}} = 72 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{год}$	
ЭЛ10 (3 секції)							
V , км/год	23	25	27	30	35	40	55
F , Н	941 800	735 800	588 600	441 500	319 800	240 300	132 400
$I = 0,0667 \cdot F_{\text{д}} + 1600$			$U_d = 1,004 - 0,0003 \cdot I_d$			$a_{\text{вп}} = 206 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{год}$	
ОПЭ1 (3 секції)							
V , км/год	26	30	35	40	45	50	60
F , Н	102 000	716 100	461 000	313 900	206 000	147 200	78 500
$I = 0,0632 \cdot F_{\text{д}} + 1560$			$U_d = 1,216 - 0,0002 \cdot I_d$			$a_{\text{вп}} = 206 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{год}$	
ОПЭ2 (3 секції)							
V , км/год	25,5	27	30	35	40	50	70
F , Н	971 200	824 000	618 000	371 800	273 700	156 000	76 500
$I = 0,0457 \cdot F_{\text{д}} + 820$			$U_d = 1,688 - 0,00068 \cdot I_d$			$a_{\text{вп}} = 206 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{год}$	
ОПЭ1А (3 секції)							
V , км/год	25,5	27	30	35	40	50	70
F , Н	971 200	824 000	618 000	397 300	273 700	156 000	76 500
$I = 0,0457 \cdot F_{\text{д}} + 820$			$U_d = 1,216 - 0,0002 \cdot I_d$			$a_{\text{вп}} = 206 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{год}$	

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила тяговых расчетов для поездной работы промышленных электровозов и тяговых агрегатов постоянного тока. 2-е изд. Москва : Промтрансниипроект, 1977. Вып. 4322. 88 с.
2. Правила тяговых расчетов для поездной работы промышленных электровозов и тяговых агрегатов переменного тока. 2-е изд. Москва : Промтрансниипроект, 1977. Вып. 4323. 78 с.
3. Правила тяговых расчетов для тепловозов на промышленном транспорте. 2-е изд. Москва : Промтрансниипроект, 1977. Вып. 4324. 117 с.
4. Шелест П. А. Тяговые расчеты тепловозов промышленного транспорта. Москва : Транспорт, 1972. 160 с.
5. Правила тяговых расчетов для поездной работы. Москва : Транспорт, 1985. 287 с.
6. Гребенюк П. Т., Долганов А. Н., Скворцова А. И. Тяговые расчеты : справочник / под ред. П. Т. Гребенюка. Москва : Транспорт, 1987. 272 с.
7. Залит Н. Н. Справочник по тепловозам промышленного транспорта. Москва : Транспорт, 1969. 256 с.
8. Корженевич И. П. Программа расчетов переустройства плана железнодорожного пути «RWPlan». Днепропетровск, 2006. 84 с.

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

Агрегат тяговий, [10](#)

Вага локомотива зчіпна, [6](#)

вагон моторний, [7](#)

вибіг, [5](#)

витрати палива, [64](#)

Гальмо рухомого складу

автоматичне пневматичне, [5](#)

гальмо рухомого складу

електропневматичне, [6](#)

гальмо рухомого складу

магнітнорейкове, [7](#)

гальмо рухомого складу

пневматичне, [8](#)

гальмо рухомого складу

стоянкове, [10](#)

гальмо рухомого складу

фрикційне, [10](#)

гальмування автостопне, [5](#)

гальмування екстрене, [5](#)

гальмування електричне, [5](#)

гальмування рекуперативне, [8](#)

гальмування реостатне, [8](#)

гальмування службове, [9](#)

Дійсний коефіцієнт тертя

гальмівної колодки об

колесо, [37](#)

дійсна сила натискання

гальмівних колодок на вісь,

[37](#)

довжина колії корисна, [6](#)

додатковий питомий опір

руху від ухилу, [28](#)

додатковий питомий опір

руху поїзда в залежності від

стану колії, [33](#)

додатковий питомий опір

руху поїзда від зустрічного та

бічного вітру, [32](#)

додатковий питомий опір

руху поїзда від кривої, [28](#)

додатковий питомий опір

руху поїзда по стрілочному

переводу на бічний

напрямок, [29](#)

додатковий питомий опір

руху поїзда при низькій

температурі зовнішнього

повітря, [31](#)

додатковий питомий опір у

разі руху поїзда вагонами

вперед, [33](#)

дотична сила тяги тепловоза,

[48](#)

Електровоз, [6](#)

ефективний струм двигуна, [68](#)

Коефіцієнт зчеплення, [45](#)

коефіцієнт на опір від

повороту візків екіпажів, [29](#)

коефіцієнт тяги, [47](#)

- коефіцієнт, що враховує стан колії, [33](#)
колії тимчасові, [10](#)
корисна довжина залізничної колії, [53](#)
кран екстреного гальмування, [7](#)
Локомотив, [7](#)
 локомотив підштовхуючий, [7](#)
Максимальні швидкості в нормальних умовах, [56](#)
маневровий порядок руху, [7](#)
маса локомотива
 розрахункова, [8](#)
маса локомотива службова (облікова), [9](#)
маса состава поїзда, [50](#)
Опір руху поїзда, [7](#)
 основний питомий опір руху вагонів, [20](#)
 основний питомий опір руху локомотивів, [20](#)
 основний питомий опір руху поїзда, [24](#)
Перевірка на перегрів, [66](#)
 питома гальмівна сила, [40](#)
 питома дотична сила тяги, [48](#)
 питомий опір руху поїзда в тяговому режимі, [35](#)
 підйом важкий (швидкісний), [5](#)
 підйом розрахунковий, [6](#)
 повна гальмівна сила поїзда, [37](#)
 повний опір руху поїзда в тяговому режимі, [35](#)
 поїзд, [8](#)
 поїзний порядок руху, [8](#)
 прискорення поїзда при рушанні з місця, [53](#)
 протиюзна система, [8](#)
Секція дизельна, [5](#)
 сила поздовжня динамічна, [8](#)
 сила тяги, [8](#)
 сила тяги динамометрична, [9](#)
 сила тяги дотична, [9](#)
 сила тяги на зчепленні, [9](#)
 сила тяги по зчепленню, [9](#)
 спеціальний самохідний тяговий рухомий склад, [9](#)
 спрямований ухил профілю, [59](#)
 спуск затяжний, [6](#)
 спуск керівний, [6](#)
 спуск шкідливий, [10](#)
Тепловоз, [10](#)
 тяга кратна, [7](#)
 тяга подвійна, [8](#)
Ухил, [10](#)
 ухил керівний, [6](#)
Холостий хід локомотива, [10](#)
Час підготовки гальм до дії, [41](#)
Швидкість виходу на автоматичну характеристику, [47](#)
 швидкість конструкційна, [10](#)
 швидкість рівноважна, [10](#)
 шлях гальмівний, [5](#)

ДОДАТОК А

Умовні позначення, одиниці виміру величин та їх точність

Таблиця А.1

Найменування величини	Умовні позначення	Одиниця вимірювання	Точність
1	2	3	4
Швидкість руху	V	км/ГОД	0,1
Швидкість виходу на автоматичну характеристику	V_a	км/ГОД	0,1
Розрахунково-мінімальна швидкість руху локомотива	V_p	км/ГОД	0,1
Максимальна (конструкційна) швидкість руху локомотив	V_{max}	км/ГОД	0,1
Початкова швидкість руху	V_n	км/ГОД	0,1
Кінцева швидкість руху	V_k	км/ГОД	0,1
Зміна швидкості руху	ΔV	км/ГОД	0,1
Розрахункова маса локомотива, тягового агрегату, моторних вагонів	P	т	1
Зчіпна вага локомотива, тягового агрегату, моторних вагонів	$P_{зч}$	кН	1
Маса состава (вагонів)	Q	т	10
Маса вагона брутто, що припадає на одну вісь	q_0	т	0,1
Ухил елемента поздовжнього профілю (підйом зі знаком «+», спуск зі знаком «-»)	i	‰	0,1
Розрахунковий (керівний) ухил на підйомі, за яким визначається маса складу поїзда	i_p	‰	0,1
Спрямлений ухил в поздовжньому профілі	i_c	‰	0,1
Додатковий ухил, що враховує опір від кривих при випрямленні профілю	Δi_c	‰	0,1
Довжина поїзда	L_n	м	1
Довжина елемента поздовжнього профілю	l	м	1
Довжина елемента поздовжнього профілю	l_c	м	1
Радіус кругової кривої в плані	R	м	1

Продовження табл. А.1

1	2	3	4
Шлях, пройдений поїздом	S	м	1
Інтервал пройденого поїздом шляху або крок ітерації	ΔS	м	1
Довжина кругової кривої в плані	$S_{\text{кр}}$	м	1
Час руху поїзда	t	хв	0,1
Інтервал часу руху поїзда	Δt	хв	0,1
Час підготовки гальм до дії	$t_{\text{п}}$	с	0,1
Час, що минув від початку включення гальмування	$t_{\text{г}}$	с	0,1
Час, що минув від початку включення гальмування, при якому гальмівні циліндри наповнюються повністю	$t_{\text{г1}}$	с	0,1
Температура навколишнього повітря	$t_{\text{зп}}$	°С	1
Густина повітря	ρ	кг/м ³	0,1
Атмосферний тиск	$H_{\text{бар}}$	гПа	1
Питомий основний опір руху локомотива в тяговому режимі	ω'_0	Н/т	0,01
Питомий основний опір руху локомотива в холостому режимі	ω'_x	Н/т	0,01
Питомий основний опір руху складу (вагонів) поїзда	ω''_0	Н/т	0,01
Питомий основний опір руху поїзда в тяговому режимі	ω_0	Н/т	0,01
Питомий основний опір руху поїзда в холостому режимі	ω_{0x}	Н/т	0,01
Питомий основний опір руху складу поїзда при зрушенні з місця	$\omega_{\text{зр}}$	Н/т	0,01
Питомий опір руху поїзда від ухилу поздовжнього профілю. Чисельно дорівнює ухилу	ω_i	Н/т	0,01
Питомий опір руху поїзда при проходженні кривих ділянок шляху	ω_{r0}	Н/т	0,01
Питомий опір руху поїзда при низькій температурі зовнішнього повітря	$\omega_{\text{нт}}$	Н/т	0,01
Питомий опір руху поїзда від зустрічного і бічного вітру	$\omega_{\text{в}}$	Н/т	0,01
Питомий опір руху поїзда у разі руху вагонами вперед	$\omega_{\text{вв}}$	Н/т	0,01
Питомий опір руху поїзда в залежності від стану колії	$\omega_{\text{ск}}$	Н/т	0,01
Повний опір руху поїзда	W	Н	50

Продовження табл. А.1

1	2	3	4
Питомий опір руху поїзда	ω	Н/Т	0,01
Повний опір руху поїзда при перевірці маси складу по зрушенню з місця	$W_{зр}$	Н	50
Питомий опір руху поїзда при перевірці маси складу по зрушенню з місця	$\omega_{зр}$	Н/Т	0,01
Прискорення поїзда при русанні з місця	a	м/с ²	0,01
Розрахунковий коефіцієнт зчеплення коліс локомотива з рейками	ψ	—	0,001
Коефіцієнт зчеплення коліс локомотива з рейками в кривих ділянках колії	ψ_R	—	0,001
Коефіцієнт тяги для тепловозів	ψ_T	—	0,001
Дійсна сила натискання гальмівної колодки	K	Н	50
Розрахункова сила натискання гальмівної колодки	K_t	Н	50
Коефіцієнт, що враховує поступовість наповнення гальмівних циліндрів	k_t	—	0,01
Коефіцієнт використання гальмівної сили під час службового гальмування	$k_{сг}$	—	0,01
Коефіцієнт, що враховує зниження сили тяги локомотивів за атмосферних умов, що відрізняються від стандартних	k_a	—	0,01
Коефіцієнт, що враховує зниження потужності дизеля локомотива за температури зовнішнього повітря 20 °С і вище	k_m	—	0,01
Коефіцієнт, що враховує зниження потужності дизеля локомотива за атмосферним тиску нижче 1013 гПа (760 мм рт. ст.)	k_p	—	0,01
Коефіцієнт, що враховує опір від повороту візків екіпажів на зворотних кривих	k_s	—	0,01
Дійсний коефіцієнт тертя гальмівної колодки об колесо	φ	—	0,001
Повна гальмівна сила поїзда	$B_{г}$	Н	50
Питома гальмівна сила поїзда	$b_{г}$	Н/Т	0,1
Гальмівна сила, яка реалізується магнітно-рейковими гальмами	$B_{м}$	Н	50
Питома гальмівна сила, яка реалізується магнітнорейковими гальмами	$b_{м}$	Н/Т	0,1
Загальна питома гальмівна сила поїзда	r	Н/Т	0,1
Потужність локомотива	N	кВт	1

Продовження табл. А.1

1	2	3	4
Коефіцієнт наближення реальної тягової характеристики тепловоза до ідеальної	η	—	0,001
Дотична сила тяги локомотива	F_d	Н	50
Розрахункове значення дотичної сили тяги локомотива за розрахунково-мінімальної швидкості	$F_{др}$	Н	50
Розрахункове значення дотичної сили тяги локомотива під час зрушення поїзда з місця	$F_{зр}$	Н	50
Дотична сила тяги локомотива по зчепленню рейки та колеса	$F_{зч}$	Н	50
Питома дотична сила тяги локомотива (на 1 т маси поїзда)	f_d	Н/т	0,01
Механічна робота локомотива	R_m	МДж	1
Витрата електроенергії	A	кВт·год	10
Витрата електроенергії на власні потреби за годину роботи	$a_{вп}$	кВт·год/год	1
Струм, споживаний локомотивом (сила струму)	I	А	1
Струм, споживаний електродвигуном	I_d	А	1
Струм, споживаний електродвигунами на кроці інтегрування	I_k	А	1
Ефективний струм електродвигуна	I_e	А	1
Максимальний струм електродвигуна за певний час	I_t	А	1
Напруга в контактній мережі	U	тис. В	0,01
Напруга електродвигуна	U_d	тис. В	0,01
Витрата палива на власні потреби за годину роботи	$g_{вп}$	кг/год	0,5
Кількість електродвигунів	n_d	—	—
Витрата палива в тяговому режимі за годину роботи	$g_{п}$	кг/год	0,5
Витрата палива	G	кг	1

ДОДАТОК Б

Коефіцієнт, що враховує додатковий питомий опір руху поїзда від низької температури зовнішнього повітря

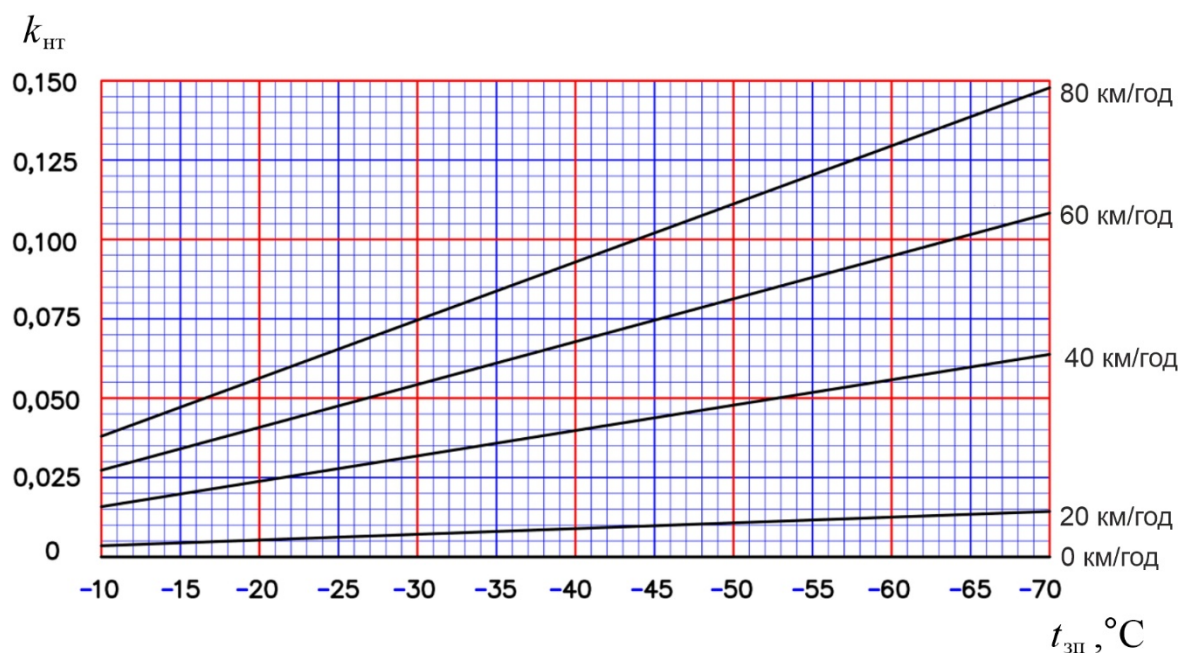


Рис. Б.1. Номограма для визначення коефіцієнту $k_{нт}$

Таблиця Б.1

Величина коефіцієнту $k_{нт}$

$V,$ км/год	Коефіцієнт $k_{нт}$ за температурою зовнішнього повітря $t_{зп}, ^\circ\text{C}$														
	-11	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21	-22	-23	-24	-25
20	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006	0,006	0,006	0,006
40	0,017	0,017	0,018	0,019	0,020	0,021	0,021	0,022	0,023	0,024	0,025	0,025	0,026	0,027	0,028
60	0,029	0,030	0,031	0,033	0,034	0,035	0,037	0,038	0,039	0,041	0,042	0,044	0,045	0,046	0,048
80	0,040	0,042	0,043	0,045	0,047	0,049	0,051	0,053	0,054	0,056	0,058	0,060	0,062	0,064	0,065

Продовження табл. Б.1

V , км/год	Коефіцієнт $k_{нт}$ за температурою зовнішнього повітря $t_{зп}$, °C														
	-26	-27	-28	-29	-30	-31	-32	-33	-34	-35	-36	-37	-38	-39	-40
20	0,006	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,009	0,009	0,009
40	0,029	0,029	0,030	0,031	0,032	0,033	0,033	0,034	0,035	0,036	0,037	0,037	0,038	0,039	0,040
60	0,049	0,050	0,052	0,053	0,054	0,056	0,057	0,058	0,060	0,061	0,062	0,064	0,065	0,066	0,068
80	0,067	0,069	0,071	0,073	0,075	0,076	0,078	0,080	0,082	0,084	0,086	0,087	0,089	0,091	0,093

V , км/год	Коефіцієнт $k_{нт}$ за температурою зовнішнього повітря $t_{зп}$, °C														
	-41	-42	-43	-44	-45	-46	-47	-48	-49	-50	-51	-52	-53	-54	-55
20	0,009	0,009	0,009	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,012
40	0,041	0,041	0,042	0,043	0,044	0,045	0,045	0,046	0,047	0,048	0,049	0,049	0,050	0,051	0,052
60	0,069	0,071	0,072	0,073	0,075	0,076	0,077	0,079	0,080	0,081	0,083	0,084	0,085	0,087	0,088
80	0,095	0,097	0,098	0,100	0,102	0,104	0,106	0,108	0,109	0,111	0,113	0,115	0,117	0,119	0,120

V , км/год	Коефіцієнт $k_{нт}$ за температурою зовнішнього повітря $t_{зп}$, °C														
	-56	-57	-58	-59	-60	-61	-62	-63	-64	-65	-66	-67	-68	-69	-70
20	0,012	0,012	0,012	0,012	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
40	0,053	0,053	0,054	0,055	0,056	0,057	0,057	0,058	0,059	0,060	0,061	0,061	0,062	0,063	0,064
60	0,089	0,091	0,092	0,093	0,095	0,096	0,098	0,099	0,100	0,102	0,103	0,104	0,106	0,107	0,108
80	0,122	0,124	0,126	0,128	0,130	0,131	0,133	0,135	0,137	0,139	0,140	0,142	0,144	0,146	0,148

Примітка: величина коефіцієнту прийнята по апроксимації експериментальних даних в Правилах тягових розрахунків для поїзної роботи, зменшених на одиницю з урахуванням методу розрахунків в даному посібнику.

Для проміжних значень швидкості руху поїзда величина коефіцієнту $k_{нт}$ визначаються інтерполяцією. За швидкістю руху 0 км/год $k_{нт} = 0$

ДОДАТОК В

**Коефіцієнт, що враховують додатковий
питомий опір руху поїзда від зустрічного
та бічного вітру**

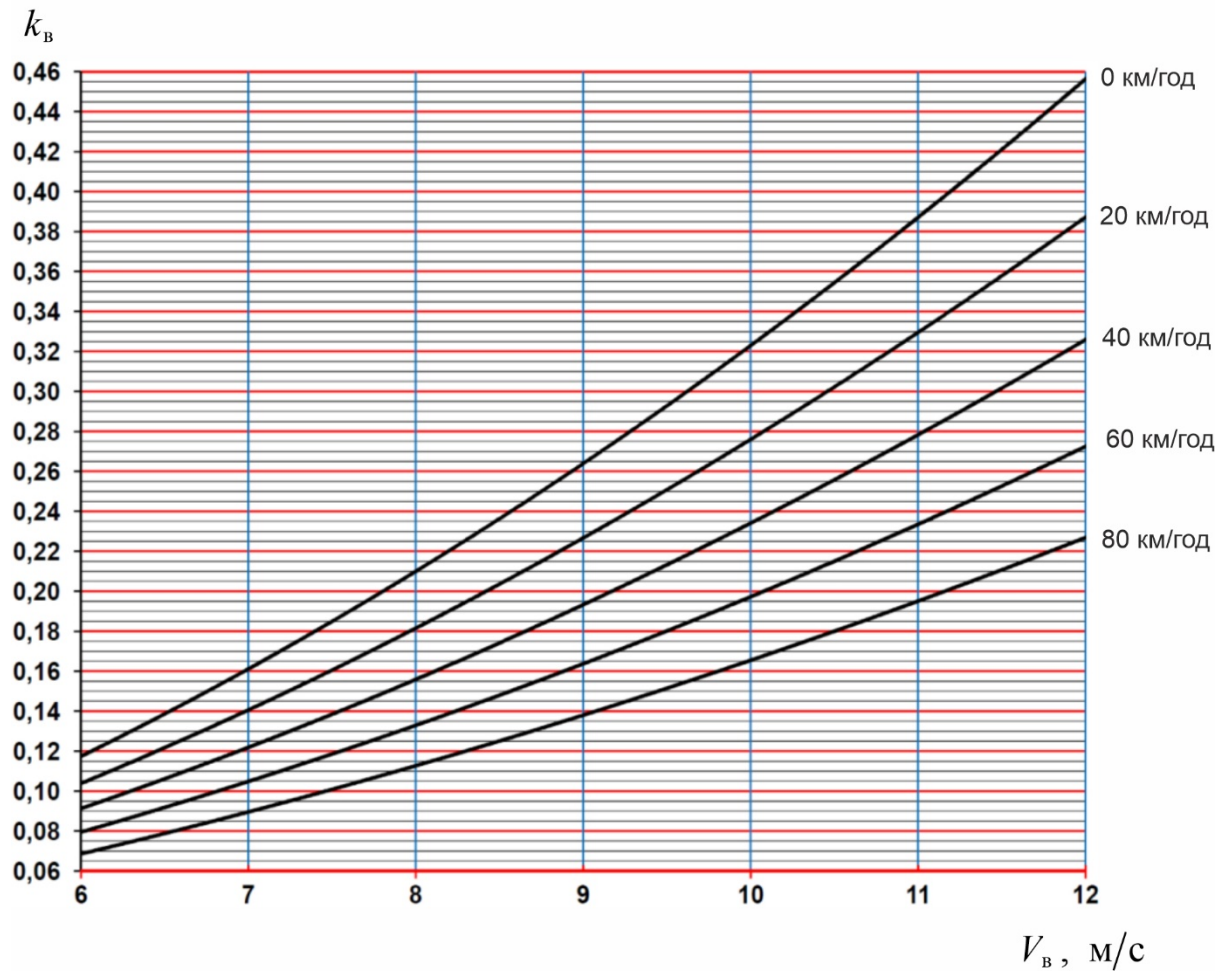


Рис. В.1. Номограма для визначення коефіцієнту k_v за швидкістю вітру від 6 до 12 м/с

Величина коефіцієнту k_B за швидкістю вітру від 6 до 12 м/с

V , км/год	Коефіцієнт k_B за швидкістю вітру V_B , м/с						
	6	7	8	9	10	11	12
0	0,117	0,161	0,210	0,264	0,323	0,387	0,456
20	0,104	0,141	0,182	0,227	0,276	0,330	0,387
40	0,091	0,122	0,156	0,193	0,234	0,278	0,326
60	0,079	0,105	0,133	0,164	0,197	0,234	0,273
80	0,069	0,090	0,113	0,138	0,165	0,195	0,227

Примітка: величина коефіцієнту прийнята по апроксимації експериментальних даних в Правилах тягових розрахунків для поїзної роботи, зменшених на одиницю з урахуванням методу розрахунків в даному посібнику.

Швидкість вітру V_B у разі її дробовому значенні приймається з округленням в більшу сторону до цілого числа

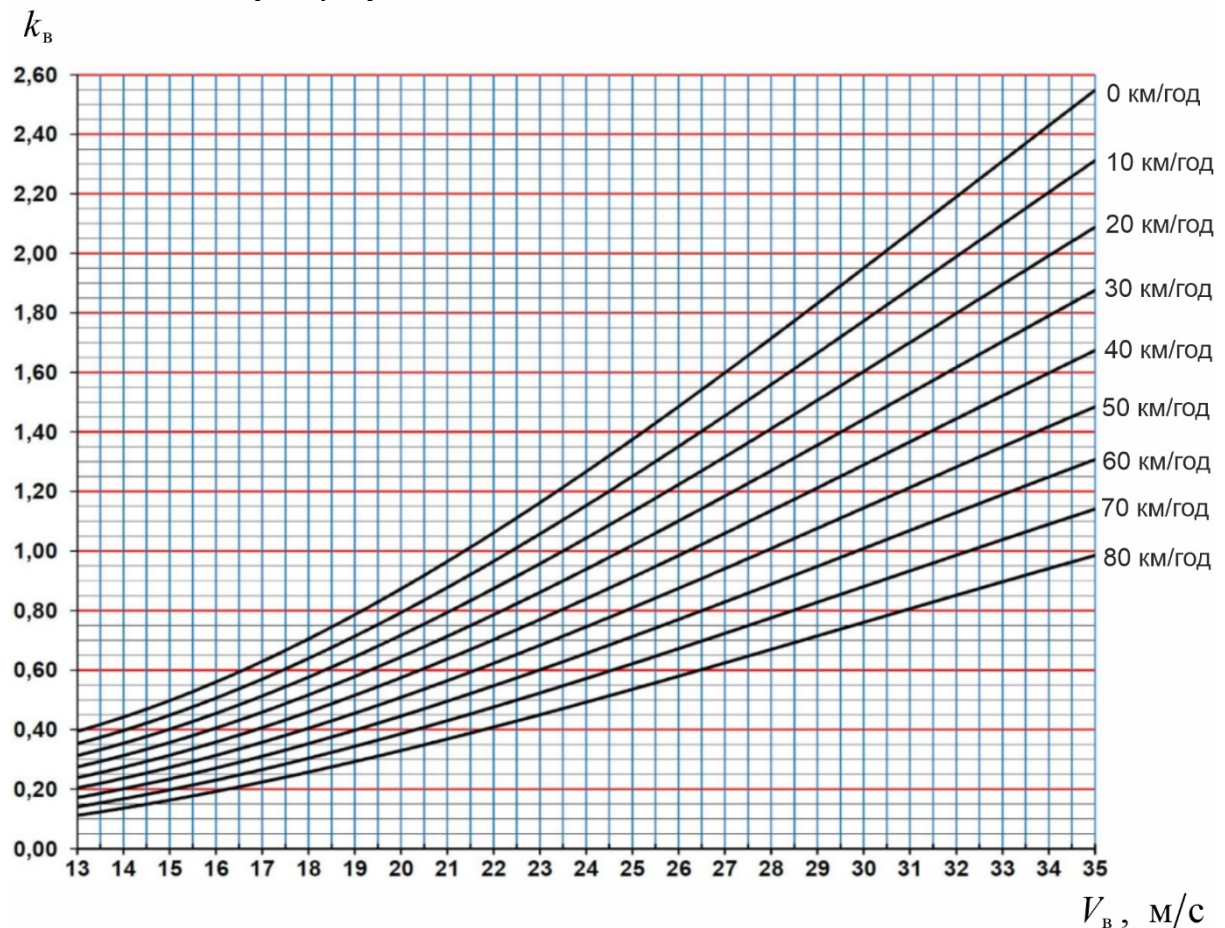


Рис. В.2. Номограма для визначення коефіцієнту k_B за швидкістю вітру від 13 до 35 м/с та густиною повітря 1,0 кг/м³

Таблиця В.2

Величина коефіцієнту k_b за швидкістю вітру від 13 до 35 м/с та густиною повітря 1,0 кг/м³

V , км/ГОД	Коефіцієнт k_b за швидкістю вітру V_b , м/с											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	0,394	0,442	0,497	0,560	0,629	0,705	0,786	0,873	0,965	1,061	1,162	1,267
10	0,353	0,397	0,448	0,506	0,570	0,639	0,714	0,793	0,877	0,965	1,057	1,152
20	0,313	0,354	0,402	0,455	0,513	0,577	0,645	0,717	0,794	0,874	0,957	1,043
30	0,275	0,313	0,357	0,405	0,459	0,517	0,579	0,644	0,713	0,786	0,861	0,939
40	0,239	0,274	0,314	0,358	0,407	0,459	0,515	0,575	0,637	0,702	0,770	0,840
50	0,204	0,237	0,273	0,313	0,357	0,405	0,455	0,508	0,564	0,623	0,683	0,745
60	0,171	0,201	0,234	0,271	0,310	0,353	0,398	0,446	0,495	0,547	0,601	0,656
70	0,141	0,168	0,198	0,230	0,266	0,304	0,344	0,386	0,430	0,476	0,523	0,572
80	0,112	0,136	0,163	0,192	0,224	0,257	0,293	0,330	0,368	0,408	0,450	0,492

V , км/ГОД	Коефіцієнт k_b за швидкістю вітру V_b , м/с											
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
0	1,375	1,486	1,599	1,714	1,832	1,950	2,070	2,190	2,310	2,429	2,548	
10	1,251	1,351	1,454	1,559	1,665	1,773	1,881	1,989	2,097	2,205	2,312	
20	1,132	1,223	1,316	1,411	1,507	1,603	1,701	1,798	1,895	1,992	2,088	
30	1,019	1,101	1,185	1,270	1,356	1,442	1,530	1,617	1,704	1,790	1,876	
40	0,911	0,985	1,060	1,135	1,212	1,289	1,367	1,444	1,521	1,598	1,674	
50	0,809	0,875	0,941	1,008	1,076	1,145	1,213	1,282	1,350	1,418	1,485	
60	0,713	0,770	0,829	0,888	0,948	1,009	1,069	1,129	1,189	1,249	1,307	
70	0,621	0,672	0,723	0,775	0,828	0,880	0,933	0,986	1,038	1,090	1,141	
80	0,535	0,580	0,624	0,669	0,715	0,760	0,806	0,851	0,897	0,941	0,985	

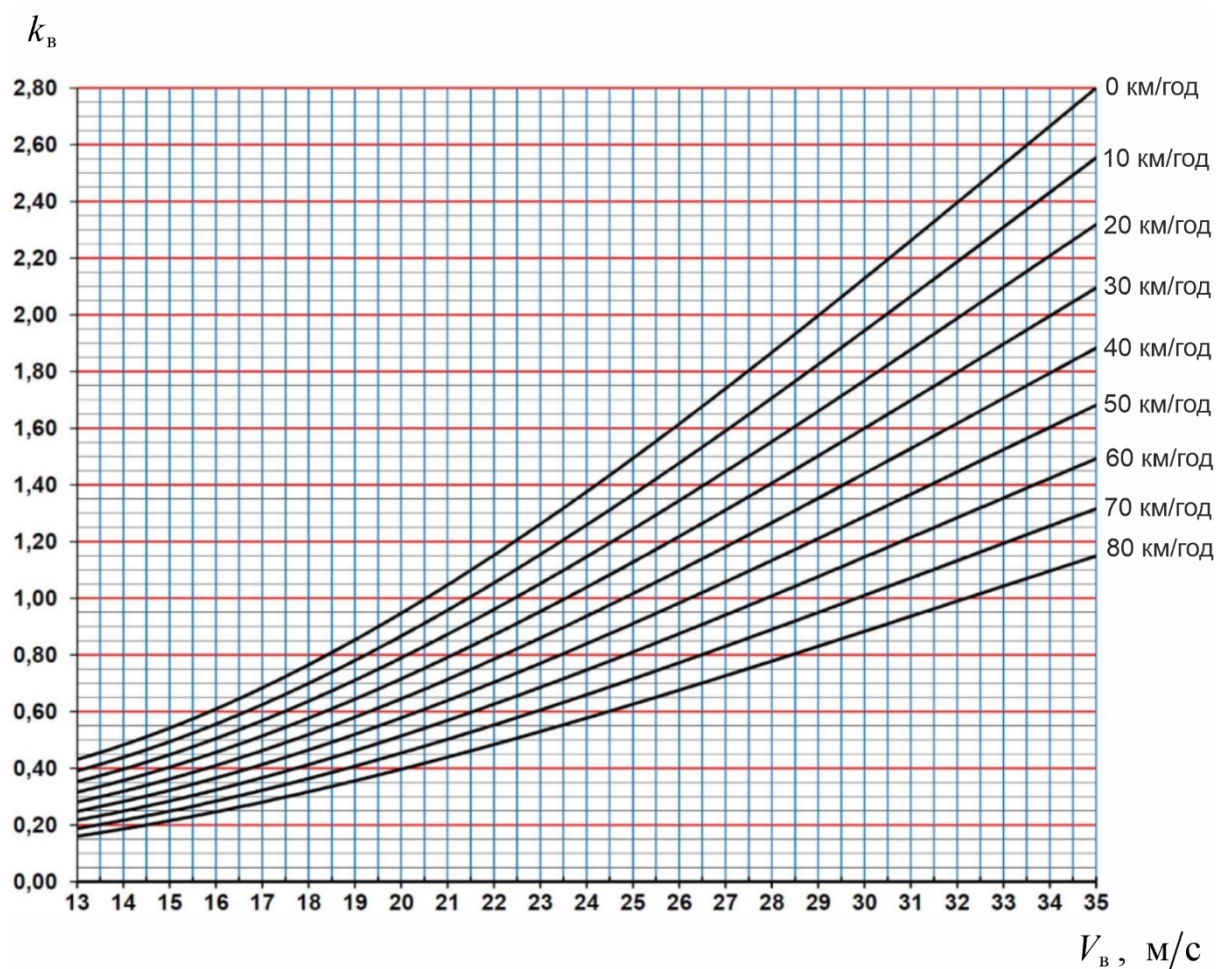


Рис. В.3. Номограма для визначення коефіцієнту $k_{\text{в}}$ за швидкістю вітру від 13 до 35 м/с та густиною повітря 1,1 кг/м³

Таблиця В.3

Величина коефіцієнту k_b за швидкістю вітру від 13 до 35 м/с та густиною повітря 1,1 кг/м³

V , км/ГОД	Коефіцієнт k_b за швидкістю вітру V_b , м/с											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	0,431	0,483	0,542	0,609	0,684	0,765	0,853	0,947	1,047	1,152	1,262	1,376
10	0,391	0,439	0,494	0,556	0,625	0,700	0,781	0,867	0,958	1,054	1,154	1,258
20	0,353	0,397	0,448	0,505	0,568	0,637	0,711	0,790	0,873	0,960	1,052	1,146
30	0,316	0,357	0,404	0,457	0,514	0,577	0,644	0,716	0,791	0,871	0,953	1,039
40	0,281	0,319	0,362	0,410	0,463	0,520	0,581	0,645	0,714	0,785	0,860	0,937
50	0,248	0,283	0,322	0,366	0,414	0,465	0,520	0,578	0,640	0,704	0,770	0,839
60	0,217	0,249	0,285	0,324	0,367	0,413	0,462	0,514	0,569	0,626	0,686	0,747
70	0,188	0,217	0,249	0,284	0,323	0,364	0,408	0,454	0,503	0,553	0,606	0,660
80	0,160	0,186	0,215	0,247	0,281	0,317	0,356	0,397	0,440	0,484	0,530	0,577

V , км/ГОД	Коефіцієнт k_b за швидкістю вітру V_b , м/с											
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
0	1,494	1,615	1,740	1,867	1,997	2,129	2,262	2,396	2,530	2,665	2,800	
10	1,366	1,477	1,591	1,707	1,825	1,944	2,065	2,187	2,309	2,432	2,554	
20	1,244	1,345	1,448	1,553	1,660	1,768	1,877	1,987	2,098	2,208	2,318	
30	1,127	1,218	1,311	1,406	1,502	1,600	1,698	1,797	1,897	1,996	2,095	
40	1,016	1,098	1,181	1,266	1,353	1,440	1,528	1,617	1,706	1,794	1,882	
50	0,910	0,983	1,058	1,134	1,211	1,289	1,367	1,445	1,524	1,603	1,681	
60	0,810	0,875	0,941	1,008	1,076	1,145	1,215	1,284	1,354	1,423	1,492	
70	0,716	0,772	0,831	0,890	0,950	1,010	1,071	1,133	1,194	1,255	1,316	
80	0,626	0,676	0,727	0,778	0,831	0,883	0,937	0,990	1,043	1,096	1,149	

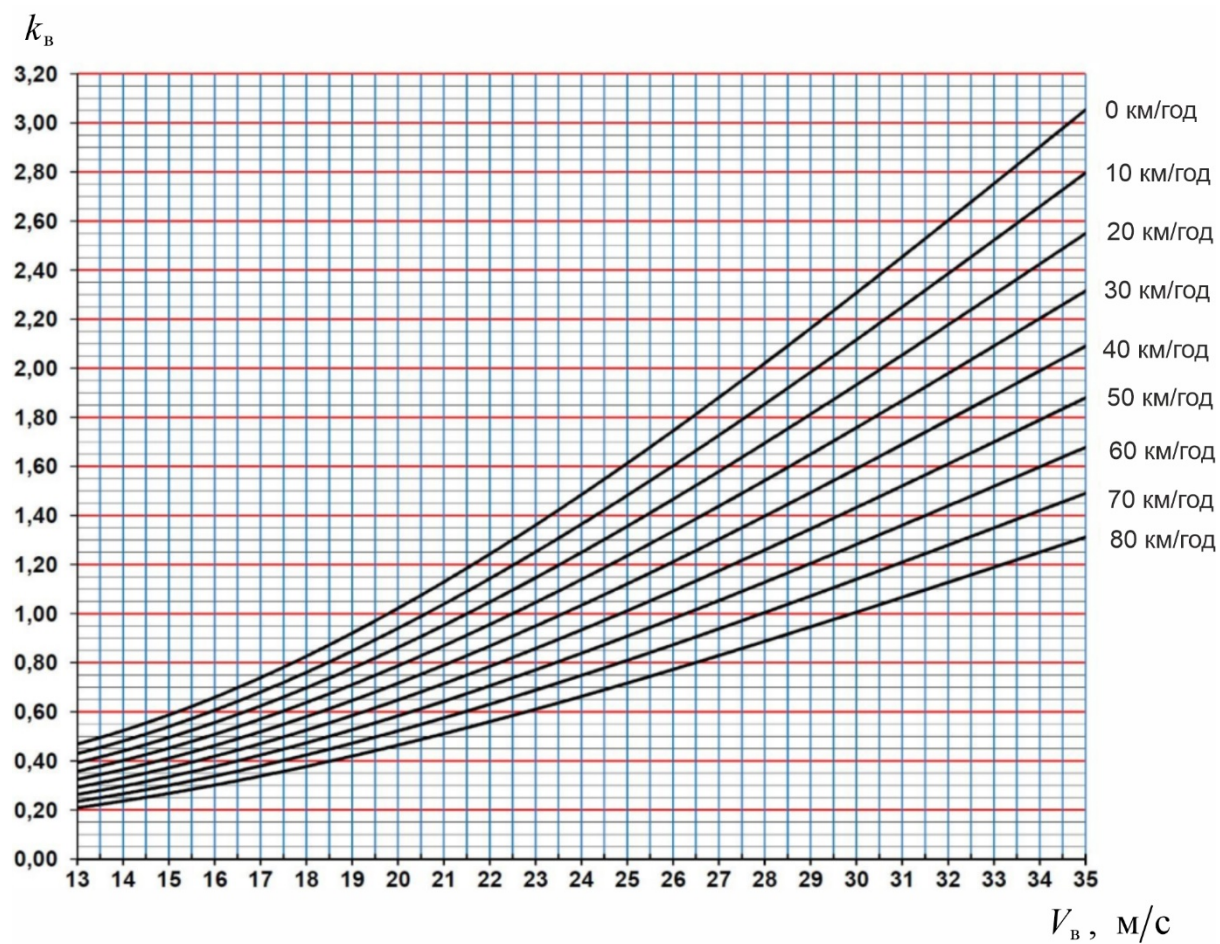


Рис. В.4. Номограма для визначення коефіцієнту k_B за швидкістю вітру від 13 до 35 м/с та густиною повітря 1,2 кг/м³

Таблиця В.4

Величина коефіцієнту k_b за швидкістю вітру від 13 до 35 м/с та густиною повітря 1,2 кг/м³

V , км/ГОД	Коефіцієнт k_b за швидкістю вітру V_b , м/с											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	0,468	0,523	0,587	0,659	0,739	0,826	0,921	1,022	1,129	1,242	1,361	1,484
10	0,430	0,481	0,540	0,606	0,680	0,760	0,847	0,940	1,039	1,143	1,251	1,364
20	0,393	0,440	0,495	0,556	0,624	0,698	0,777	0,862	0,952	1,047	1,146	1,249
30	0,357	0,401	0,452	0,508	0,570	0,638	0,710	0,788	0,869	0,955	1,045	1,139
40	0,324	0,365	0,411	0,462	0,519	0,580	0,646	0,716	0,790	0,868	0,949	1,034
50	0,293	0,330	0,372	0,419	0,470	0,525	0,585	0,648	0,715	0,785	0,858	0,933
60	0,263	0,297	0,335	0,377	0,423	0,473	0,527	0,583	0,643	0,706	0,771	0,838
70	0,235	0,266	0,300	0,338	0,380	0,424	0,472	0,522	0,575	0,631	0,688	0,748
80	0,209	0,236	0,267	0,301	0,338	0,378	0,420	0,464	0,511	0,559	0,610	0,663

V , км/ГОД	Коефіцієнт k_b за швидкістю вітру V_b , м/с											
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
0	1,613	1,745	1,881	2,020	2,162	2,307	2,454	2,602	2,752	2,902	3,053	
10	1,482	1,602	1,727	1,854	1,984	2,116	2,250	2,385	2,522	2,659	2,796	
20	1,356	1,466	1,579	1,695	1,813	1,933	2,054	2,177	2,300	2,425	2,549	
30	1,236	1,335	1,438	1,542	1,649	1,758	1,868	1,979	2,090	2,203	2,315	
40	1,121	1,211	1,303	1,397	1,493	1,591	1,689	1,789	1,889	1,989	2,090	
50	1,012	1,092	1,175	1,259	1,345	1,432	1,521	1,610	1,699	1,789	1,879	
60	0,908	0,980	1,053	1,128	1,204	1,282	1,360	1,439	1,518	1,598	1,678	
70	0,810	0,873	0,938	1,004	1,072	1,140	1,209	1,279	1,349	1,420	1,490	
80	0,717	0,772	0,829	0,887	0,946	1,006	1,066	1,127	1,189	1,250	1,312	

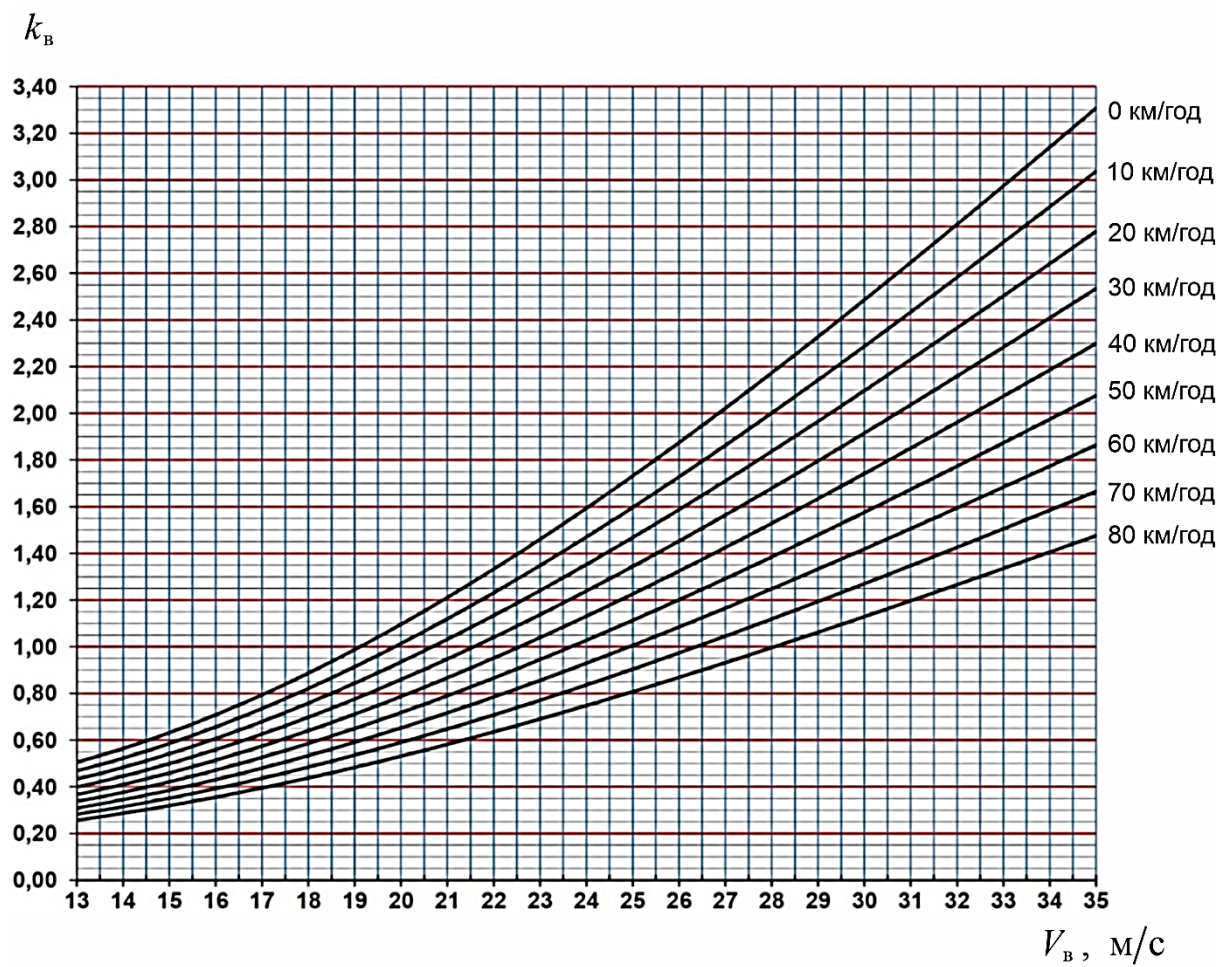


Рис. В.5. Номограма для визначення коефіцієнту k_B за швидкістю вітру від 13 до 35 м/с та густиною повітря 1,3 кг/м³

Таблиця В.5

Величина коефіцієнту k_b за швидкістю вітру від 13 до 35 м/с та густиною повітря 1,3 кг/м³

V , км/ГОД	Коефіцієнт k_b за швидкістю вітру V_b , м/с											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	0,505	0,564	0,632	0,708	0,794	0,887	0,988	1,096	1,211	1,333	1,460	1,593
10	0,468	0,523	0,585	0,656	0,735	0,821	0,914	1,014	1,120	1,231	1,348	1,470
20	0,433	0,483	0,541	0,607	0,679	0,758	0,844	0,935	1,032	1,134	1,241	1,352
30	0,399	0,446	0,499	0,559	0,626	0,698	0,776	0,859	0,947	1,040	1,138	1,239
40	0,367	0,410	0,459	0,514	0,575	0,640	0,711	0,787	0,867	0,951	1,039	1,131
50	0,337	0,376	0,421	0,471	0,526	0,586	0,650	0,718	0,790	0,866	0,945	1,028
60	0,309	0,345	0,385	0,430	0,480	0,533	0,591	0,652	0,717	0,785	0,856	0,930
70	0,282	0,315	0,351	0,392	0,436	0,484	0,536	0,590	0,648	0,708	0,771	0,836
80	0,257	0,286	0,319	0,356	0,395	0,438	0,483	0,531	0,582	0,635	0,690	0,748

V , км/ГОД	Коефіцієнт k_b за швидкістю вітру V_b , м/с											
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
0	1,732	1,875	2,022	2,173	2,328	2,486	2,647	2,809	2,974	3,140	3,307	
10	1,597	1,728	1,863	2,001	2,143	2,287	2,434	2,583	2,733	2,885	3,037	
20	1,468	1,587	1,710	1,837	1,966	2,097	2,231	2,366	2,503	2,641	2,780	
30	1,344	1,453	1,564	1,679	1,796	1,915	2,036	2,159	2,283	2,409	2,534	
40	1,226	1,324	1,425	1,528	1,634	1,742	1,851	1,962	2,073	2,186	2,299	
50	1,113	1,201	1,292	1,385	1,479	1,576	1,674	1,773	1,874	1,975	2,076	
60	1,006	1,084	1,165	1,248	1,333	1,419	1,506	1,594	1,684	1,774	1,864	
70	0,904	0,974	1,045	1,119	1,194	1,270	1,347	1,426	1,505	1,585	1,665	
80	0,807	0,869	0,932	0,996	1,062	1,129	1,197	1,266	1,335	1,405	1,476	

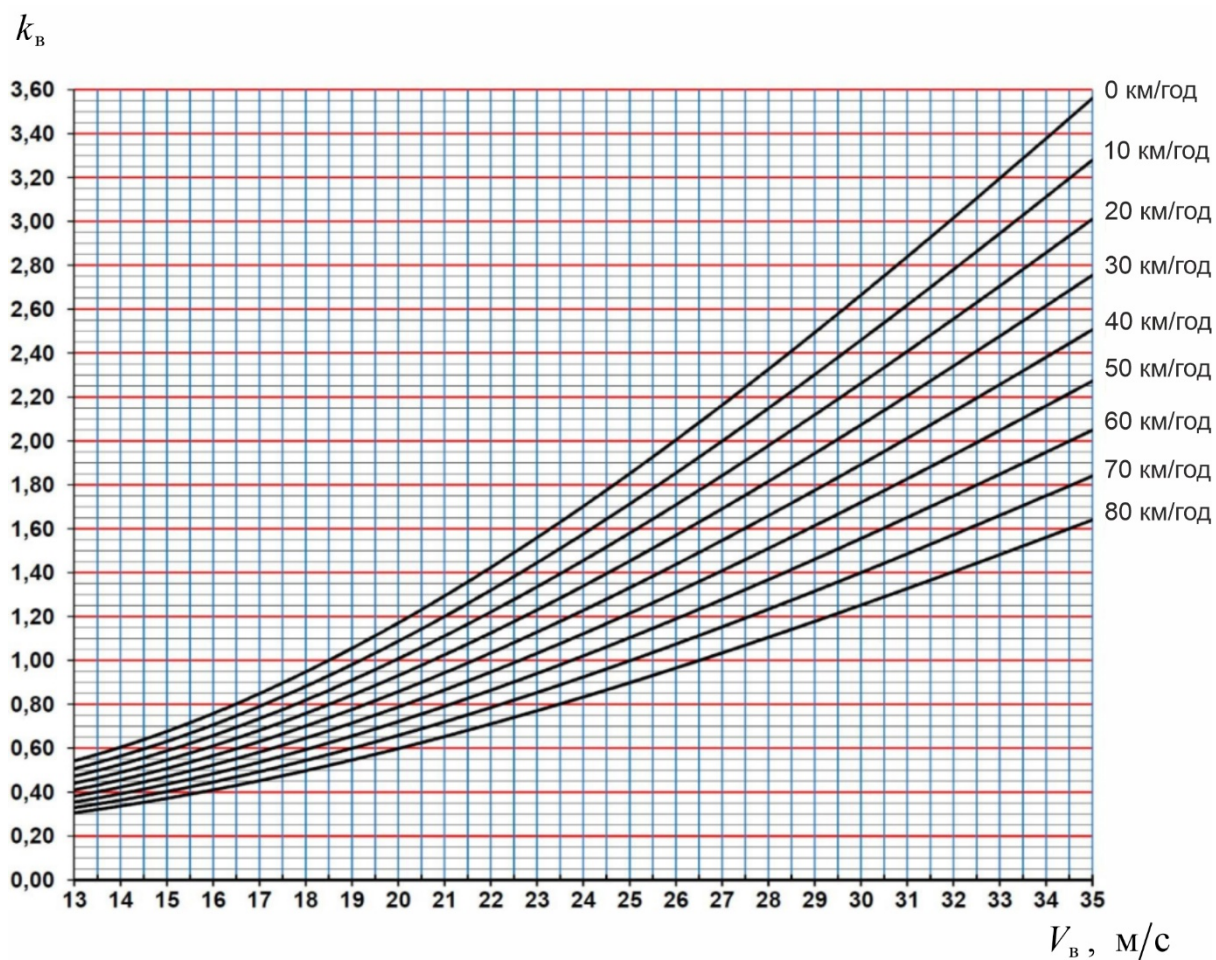


Рис. В.6. Номограма для визначення коефіцієнту k_B за швидкістю вітру від 13 до 35 м/с та густиною повітря $1,4 \text{ кг/м}^3$

Таблиця В.6

Величина коефіцієнту k_b за швидкістю вітру від 13 до 35 м/с та густиною повітря 1,4 кг/м³

V , км/ГОД	Коефіцієнт k_b за швидкістю вітру V_b , м/с											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	0,542	0,605	0,676	0,758	0,848	0,948	1,055	1,171	1,293	1,423	1,560	1,702
10	0,507	0,564	0,631	0,707	0,790	0,882	0,981	1,087	1,200	1,320	1,445	1,576
20	0,472	0,526	0,588	0,657	0,735	0,819	0,910	1,008	1,111	1,220	1,335	1,455
30	0,440	0,490	0,547	0,611	0,681	0,759	0,842	0,931	1,025	1,125	1,230	1,339
40	0,410	0,455	0,508	0,566	0,630	0,701	0,777	0,857	0,943	1,034	1,129	1,228
50	0,381	0,423	0,471	0,524	0,582	0,646	0,715	0,788	0,865	0,947	1,032	1,122
60	0,354	0,392	0,435	0,484	0,536	0,594	0,655	0,721	0,791	0,864	0,941	1,021
70	0,329	0,364	0,403	0,446	0,493	0,545	0,599	0,658	0,720	0,785	0,853	0,924
80	0,306	0,337	0,371	0,410	0,452	0,498	0,546	0,598	0,653	0,710	0,771	0,833

V , км/ГОД	Коефіцієнт k_b за швидкістю вітру V_b , м/с											
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
0	1,851	2,004	2,163	2,326	2,494	2,665	2,839	3,016	3,196	3,377	3,561	
10	1,712	1,853	1,999	2,149	2,302	2,459	2,619	2,781	2,945	3,112	3,279	
20	1,580	1,709	1,842	1,978	2,119	2,262	2,408	2,556	2,706	2,857	3,010	
30	1,452	1,570	1,691	1,815	1,943	2,073	2,206	2,341	2,477	2,615	2,755	
40	1,331	1,437	1,547	1,659	1,775	1,892	2,012	2,134	2,257	2,381	2,506	
50	1,214	1,310	1,409	1,510	1,614	1,720	1,827	1,937	2,048	2,160	2,273	
60	1,103	1,189	1,277	1,368	1,461	1,555	1,651	1,749	1,848	1,948	2,049	
70	0,998	1,074	1,153	1,233	1,316	1,400	1,485	1,572	1,661	1,750	1,840	
80	0,898	0,965	1,034	1,105	1,178	1,252	1,327	1,404	1,482	1,560	1,640	

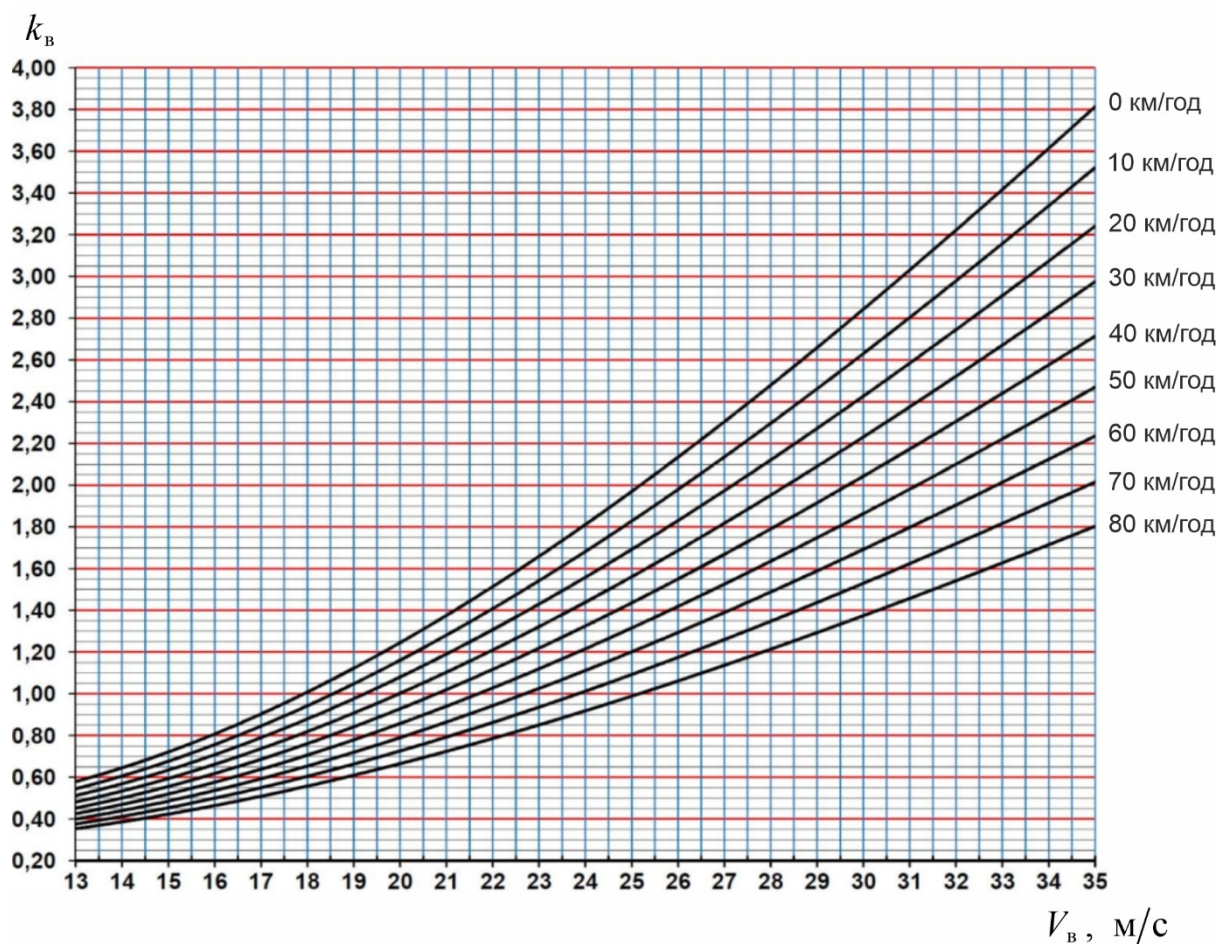


Рис. В.7. Номограма для визначення коефіцієнту k_B за швидкістю вітру від 13 до 35 м/с та густиною повітря $1,5 \text{ кг/м}^3$

Таблиця В.7

Величина коефіцієнту k_b за швидкістю вітру від 13 до 35 м/с та густиною повітря 1,5 кг/м³

V , км/год	Коефіцієнт k_b за швидкістю вітру V_b , м/с											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	0,580	0,645	0,721	0,807	0,903	1,008	1,122	1,245	1,375	1,514	1,659	1,811
10	0,545	0,606	0,677	0,757	0,845	0,942	1,048	1,161	1,281	1,408	1,542	1,682
20	0,512	0,569	0,634	0,708	0,790	0,880	0,976	1,080	1,191	1,307	1,430	1,558
30	0,481	0,534	0,594	0,662	0,737	0,819	0,908	1,003	1,103	1,210	1,322	1,439
40	0,453	0,501	0,556	0,618	0,686	0,761	0,842	0,928	1,020	1,117	1,219	1,325
50	0,426	0,470	0,520	0,576	0,639	0,706	0,779	0,857	0,940	1,028	1,120	1,216
60	0,400	0,440	0,486	0,537	0,593	0,654	0,720	0,790	0,865	0,943	1,026	1,112
70	0,376	0,413	0,454	0,499	0,550	0,605	0,663	0,726	0,793	0,863	0,936	1,013
80	0,354	0,387	0,424	0,464	0,509	0,558	0,610	0,665	0,724	0,786	0,851	0,919

V , км/год	Коефіцієнт k_b за швидкістю вітру V_b , м/с										
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
0	1,970	2,134	2,304	2,479	2,659	2,843	3,031	3,222	3,417	3,614	3,813
10	1,828	1,979	2,135	2,296	2,461	2,631	2,803	2,979	3,158	3,339	3,522
20	1,692	1,830	1,973	2,120	2,272	2,426	2,584	2,745	2,908	3,074	3,241
30	1,561	1,687	1,818	1,952	2,090	2,231	2,375	2,522	2,671	2,822	2,975
40	1,436	1,550	1,668	1,790	1,915	2,043	2,173	2,305	2,440	2,576	2,714
50	1,316	1,419	1,526	1,635	1,748	1,863	1,981	2,100	2,222	2,345	2,469
60	1,201	1,294	1,390	1,488	1,589	1,692	1,798	1,905	2,014	2,124	2,235
70	1,092	1,175	1,260	1,347	1,438	1,529	1,623	1,719	1,816	1,915	2,015
80	0,989	1,062	1,137	1,214	1,293	1,374	1,457	1,542	1,627	1,714	1,803

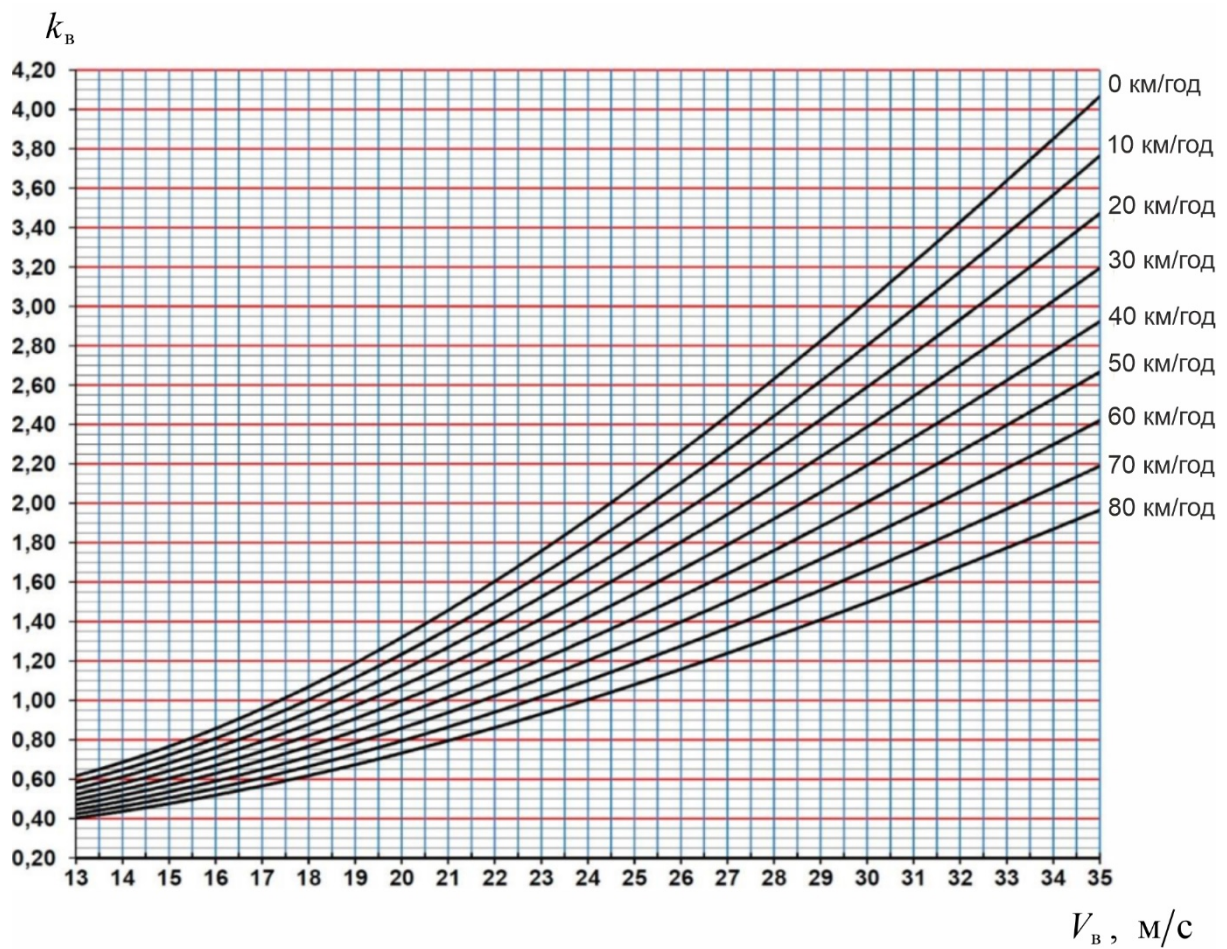


Рис. В.8. Номограма для визначення коефіцієнту k_B за швидкістю вітру від 13 до 35 м/с та густиною повітря $1,6 \text{ кг/м}^3$

Величина коефіцієнту k_b за швидкістю вітру від 13 до 35 м/с та густиною повітря 1,6 кг/м³

V , км/ГОД	Коефіцієнт k_b за швидкістю вітру V_b , м/с											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	0,616	0,686	0,766	0,857	0,958	1,069	1,190	1,320	1,458	1,604	1,758	1,920
10	0,584	0,648	0,722	0,807	0,900	1,003	1,115	1,234	1,362	1,497	1,639	1,788
20	0,552	0,612	0,681	0,759	0,845	0,940	1,043	1,153	1,270	1,394	1,525	1,661
30	0,523	0,578	0,642	0,713	0,793	0,880	0,973	1,074	1,181	1,295	1,414	1,539
40	0,496	0,546	0,604	0,670	0,742	0,822	0,907	0,999	1,097	1,200	1,309	1,422
50	0,470	0,516	0,569	0,629	0,695	0,767	0,844	0,927	1,016	1,109	1,207	1,310
60	0,446	0,488	0,536	0,590	0,649	0,714	0,784	0,859	0,938	1,022	1,111	1,203
70	0,423	0,462	0,505	0,553	0,607	0,665	0,727	0,794	0,865	0,940	1,019	1,101
80	0,402	0,437	0,476	0,519	0,566	0,618	0,673	0,732	0,795	0,861	0,931	1,004

V , км/ГОД	Коефіцієнт k_b за швидкістю вітру V_b , м/с											
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
0	2,088	2,264	2,445	2,632	2,824	3,022	3,223	3,429	3,638	3,851	4,066	
10	1,943	2,104	2,271	2,444	2,621	2,802	2,988	3,177	3,370	3,565	3,764	
20	1,804	1,952	2,105	2,262	2,425	2,591	2,761	2,934	3,111	3,290	3,471	
30	1,669	1,804	1,944	2,088	2,236	2,389	2,544	2,702	2,864	3,028	3,194	
40	1,541	1,663	1,790	1,921	2,056	2,194	2,334	2,478	2,624	2,773	2,923	
50	1,417	1,528	1,643	1,761	1,883	2,007	2,135	2,265	2,397	2,531	2,667	
60	1,299	1,398	1,502	1,608	1,717	1,829	1,943	2,059	2,178	2,299	2,421	
70	1,187	1,275	1,367	1,462	1,559	1,659	1,762	1,866	1,972	2,080	2,189	
80	1,079	1,158	1,239	1,323	1,409	1,497	1,588	1,680	1,774	1,870	1,967	

Примітка: величина коефіцієнту прийнята по апроксимації експериментальних даних в Правилах тягових розрахунків для поїзної роботи, зменшених на одиницю з урахуванням методу розрахунків в даному посібнику.

Для проміжних значень швидкості руху поїзда коефіцієнти k_b визначаються інтерполяцією.

Густина повітря ρ приймається з округленням до одного знаку після коми, швидкість вітру – в більшу сторону до цілого числа

Приблизний алгоритм тягових розрахунків у разі використання обчислювальних програмних засобів

Г.1. Алгоритм тягового розрахунку встановлюється розробником програми в залежності від застосовуваного програмного забезпечення та виду результатів розрахунку.

Приблизний алгоритм розрахунків для вирішення гальмівної задачі наведено в Г.2, для безпосередньо тягового розрахунку – в Г.3.

Г.2. Рішення гальмівної задачі – визначення допустимих швидкостей руху за умови зупинки поїзда наявними гальмівними засобами на будь-якому ухилі в межах встановленої довжини гальмівного шляху.

1. Введення вихідних даних:

- коефіцієнти рівняння, що описує зміну ступеня наповнення циліндрів у часі для локомотива і вагонів;
- сума дійсних гальмівних натискань колодок локомотива і вагонів;
- маса локомотива та вагонів;
- коефіцієнти рівняння для дійсного коефіцієнта тертя гальмівних колодок;
- кількість гальмівних колодок локомотива та вагонів;
- коефіцієнти основного питомого опору локомотива в режимі холостого ходу;
- коефіцієнти основного питомого опору вагонів;
- ознака врахування магнітнорейкового гальма;
- час повного наповнення гальмівних циліндрів локомотива та вагонів.

2. Завдання першого значення ухилу та початкової швидкості руху поїзда та обчислення довжини гальмівного шляху.

3. Підбір такої швидкості за якої на даному ухилі не буде перевищена довжина гальмівного шляху.

4. Занесення значень ухилу та швидкості, що задовольняють умові.
5. Повтор дій по пунктах 2–3 для всього діапазону ухилів.
6. Побудова за даними таблиці графіка залежності допустимої швидкості від ухилу.
7. Побудова на графіку лінійної лінії тренду та встановлення за її формулою коефіцієнтів апроксимації для занесення в тяговий розрахунок.

Г.3. Тяговий розрахунок

1. Введення вихідних даних по рухомому складу:
 - довжина та маса локомотива;
 - довжина та маса вагонів за типами.
2. Обчислення довжини поїзда та необхідної довжини приймально-відправних колій, а також маси складу та поїзда.
3. Введення вихідних даних за профілем і планом колії та спрямлення профілю (якщо це передбачається).
4. Введення вихідних даних:
 - напруга на струмоприймачі (для електровоза);
 - коефіцієнти основного питомого опору локомотива в тяговому режимі і режимі холостого ходу;
 - коефіцієнти основного питомого опору вагонів;
 - дані щодо додаткових питомих опорів руху;
 - коефіцієнти для розрахунку коефіцієнта зчеплення локомотива;
 - коефіцієнти для врахування зниження коефіцієнта зчеплення в кривих і значення радіуса, за яким вже не враховується зниження коефіцієнта зчеплення;
 - сума дійсних гальмівних натискань колодок локомотива та вагонів;
 - коефіцієнти рівняння для дійсного коефіцієнта тертя гальмівних колодок локомотива та вагонів;
 - коефіцієнт використання гальмівної сили при зупинці поїзда;
 - максимально допустима швидкість руху поїзда;
 - коефіцієнти рівняння максимально-допустимої швидкості по гальмах;
 - коефіцієнти основного питомого опору руху поїзда в режимі холостого ходу;
 - тягова характеристика локомотива;
 - дані для розрахунку витрати електроенергії або палива.
5. Обчислення коефіцієнтів основного питомого опору руху поїзда.

6. Обчислення повного питомого опору руху поїзда в тяговому режимі, в режимі холостого ходу та для перевірки маси складу по русанню з місця.

7. Обчислення всіх необхідних величин по тязі (покроково).

8. Побудова графіка залежності швидкості від довжини шляху.

9. Аналіз отриманих результатів, перевірка виконання всіх умов.

10. Введення змінених даних і повторні розрахунки, якщо не виконані всі умови.

ДОДАТОК Д

Підготовка даних для тягових розрахунків у середовищі Microsoft Office Excel

Таблиця Д.1

Заповнення вихідних даних для розрахунку тепловоза ТЭМ2 у разі руху з завантаженими вагонами на вивізній роботі

Характеристика позначення	Клітинка	Значення або формула
1	2	3
Маса локомотива P , т	B2	120
Маса вагонів Q , т	C2	5000
Початкова швидкість на ділянці, км/год	D2	0
Коефіцієнт для розрахунку основного питомого опору руху локомотива a'_0	E2	3,9
Коефіцієнт для розрахунку основного питомого опору руху локомотива b'_0	F2	0,013
Коефіцієнт для розрахунку основного питомого опору руху локомотива c'_0	G2	0,00026
Коефіцієнт для розрахунку основного питомого опору руху вагонів a''_0	H2	3,0
Коефіцієнт для розрахунку основного питомого опору руху вагонів b''_0	I2	0,1
Коефіцієнт для розрахунку основного питомого опору руху вагонів c''_0	J2	0,0025
Коефіцієнт a_ψ	K2	0,25
Коефіцієнт b_ψ	L2	8
Коефіцієнт c_ψ	M2	100
Коефіцієнт d_ψ	N2	20
Коефіцієнт t_ψ	O2	0
Коефіцієнт h_ψ	P2	0
Коефіцієнт m_ψ	Q2	3,5
Коефіцієнт n_ψ	R2	400
Коефіцієнт z_ψ	S2	3

Продовження табл. Д.1

1	2	3
Граничне значення радіуса, при якому не враховується зменшення коефіцієнт зчеплення	T2	800
Кількість гальмівних колодок на локомотиві	A5	12
Сума натиснення гальмівних колодок локомотива, кг	B5	15600
Коефіцієнт a_1 для локомотива	C5	0,6
Коефіцієнт a_2 для локомотива	D5	0,016
Коефіцієнт a_3 для локомотива	E5	100
Коефіцієнт a_4 для локомотива	F5	0,08
Коефіцієнт a_5 для локомотива	G5	100
Коефіцієнт a_6 для локомотива	H5	1
Коефіцієнт a_7 для локомотива	I5	100
Коефіцієнт a_8 для локомотива	J5	5
Коефіцієнт a_9 для локомотива	K5	100
Коефіцієнт використання гальмівної сили при службовому гальмування	L5	0,5
Максимальна швидкість рухомого складу, км/год	M5	25
Допоміжний коефіцієнт для розрахунку основного питомого опору руху поїзда в тяговому режимі	N5	$=(E2 \cdot \$B\$2 + H2 \cdot \$C\$2) / (\$B\$2 + \$C\$2)$
Те саме	O5	$=(F2 \cdot \$B\$2 + I2 \cdot \$C\$2) / (\$B\$2 + \$C\$2)$
Те саме	P5	$=(G2 \cdot \$B\$2 + J2 \cdot \$C\$2) / (\$B\$2 + \$C\$2)$
Кількість гальмівних колодок вагонів	A8	212
Сума натиснення гальмівних колодок вагонів, кгс	B8	1017600
Коефіцієнт a_1 для вагонів	C8	0,44
Коефіцієнт a_2 для вагонів	D8	0,001
Коефіцієнт a_3 для вагонів	E8	20
Коефіцієнт a_4 для вагонів	F8	0,004
Коефіцієнт a_5 для вагонів	G8	20
Коефіцієнт a_6 для вагонів	H8	1
Коефіцієнт a_7 для вагонів	I8	150
Коефіцієнт a_8 для вагонів	J8	2
Коефіцієнт a_9 для вагонів	K8	150
Коефіцієнт $a_{2 \max}$	L8	0,545
Коефіцієнт $b_{2 \max}$	M8	52,9
Коефіцієнт a'_x	N8	4,55
Коефіцієнт b'_x	O8	0,013

Продовження табл. Д.1

1	2	3
Коефіцієнт c'_x	P8	0,00026
Допоміжний коефіцієнт для розрахунку питомого основного опору руху поїзда в режимі холостого ходу	Q8	$=(N8 \cdot B2 + H2 \cdot C2) / (B2 + C2)$
Те саме	R8	$=(O8 \cdot B2 + I2 \cdot C2) / (B2 + C2)$
Те саме	S8	$=(P8 \cdot B2 + J2 \cdot C2) / (B2 + C2)$
Значення швидкості (км/год) в таблиці залежностей дотичної сили тяги від швидкостей	C10-Q10	0; 5; 10; 15; 20; 25; 30
Відповідні значення дотичної сили тяги (кгс) з тягової характеристики локомотива. Значення в межах обмеження на зчеплення можна встановити рівним $F_{зр}$, оскільки вони будуть обчислені в процесі розрахунку	C11-Q11	33141; 31917; 19273; 13358; 10299; 8168; 6424
Витрата електроенергії на допоміжні потреби. Для тепловоза встановлюємо "0"	S10	0
Годинна витрата пального	T10	198
Кількість підключених паралельно електродвигунів. Для тепловоза встановлюємо "1"	U10	1
Залежність напруги двигуна від струму. Для тепловоза встановлюємо "0"	V10	0
Постійний член залежності напруги двигуна від струму. Для тепловоза встановлюємо "1"	W10	1
Коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії. Для тепловоза задаємо «1»	X10	1

Таблиця Д.2

**Заповнення клітинок для виконання тягового розрахунку тепловоза ТЭМ2
у разі руху з завантаженими вагонами на вивізній роботі**

Характеристика значень у відповідній клітинці	Стовп- чик	Формула, яка записується у стовпчик
1	2	3
Швидкість на початку кроку інтегрування, км/год	E	=Q16
Максимально допустима швидкість, км/год	F	=ЯКЩО((\$L\$8*D17+\$M\$8)>\$M\$5;\$M\$5;\$L\$8*D17+\$M\$8)
Швидкість в таблиці з тягової характеристики, менше швидкості в стовпці E	G	=ГПР(E17;\$C\$10:\$Q\$10;1;ИСТИНА)
Швидкість в таблиці з тягової характеристики, більше швидкості в стовпчику E	H	=ВИБІР(ПОШУКПОЗ(G17;\$C\$10:\$Q\$10;0)+1;\$C\$10;\$D\$10;\$E\$10;\$F\$10;\$G\$10;\$H\$10;\$I\$10;\$J\$10;\$K\$10;\$L\$10;\$M\$10;\$N\$10;\$O\$10;\$P\$10;\$Q\$10;0)
Сила тяги, відповідна швидкості в стовпці G	I	=ГПР(E17;\$C\$10:\$Q\$11;2;ИСТИНА)
Сила тяги, відповідна швидкості в стовпці H	J	=ВИБІР(ПОШУКПОЗ(I17;\$C\$11:\$Q\$11;0)+1;\$C\$11;\$D\$11;\$E\$11;\$F\$11;\$G\$11;\$H\$11;\$I\$11;\$J\$11;\$K\$11;\$L\$11;\$M\$11;\$N\$11;\$O\$11;\$P\$11;\$Q\$11;0)
Сила тяги, відповідна швидкості в стовпці E	K	=(E17-G17) · (I17-J17)/(G17-H17)+I17
Коефіцієнт, що враховує зменшення коефіцієнта зчеплення в кривих	L	=ЯКЩО(A17>=\$T\$2;1;(\$P\$2+\$Q\$2·A17)/(\$R\$2+\$S\$2·A17))
Сила тяги, відповідна обмеження по коефіцієнту зчеплення	M	=1000*\$B\$2·L17·\$K\$2+\$L\$2/(\$M\$2+\$N\$2·E17)-\$O\$2·E17)
Сила тяги, яка може бути реалізованою	N	=ЯКЩО(M17<K17;M17;K17)

Продовження табл. Д.2

1	2	3
Основний питомий опір руху поїзда, Н/т	O	$=N\$5+O\$5 \cdot E17+P\$5 \cdot E17 \cdot E17$
Зміна швидкості на кінець кроку інтегрування для режиму повної тяги, км/год	P	$=КОРІНЬ(E17 \cdot E17+0,24 \cdot (N17/(\$B\$2+\$C\$2)-O17-D17) \cdot B17)-E17$
Швидкість на кінці кроку інтегрування, км/год	Q	$=ЯКЩО((E17+P17)>F17;F17;E17+P17)$
Потрібна сила тяги (кгс)	R	$=ЯКЩО(Q17=E17;ЯКЩО((\$B\$2+\$C\$2) \cdot (O17+D17)>0;(\$B\$2+\$C\$2) \cdot (O17+D17);0);N17)$
Зміна часу на кінець кроку інтегрування, хв	S	$=60 \cdot B17/(500 \cdot (E17+Q17))$
Час руху поїзда, хв	T	$=T16+S17$
Механічна робота локомотива, тис. Н·км	U	$=U16+R17 \cdot B17/1000000$
Швидкість службового гальмування на кінець кроку інтегрування, км/год	V	$=ЯКЩО(AB18>=\$M\$5; \$M\$5; AB18)$
Питомий основний опір в режимі гальмування, Н/т	W	$=Q\$8+R\$8 \cdot V17+SS\$8 \cdot V17 \cdot V17$
Повна гальмівна сила локомотива, Н	X	$=B\$5 \cdot C\$5 \cdot (D\$5 \cdot B\$5/ \$A\$5+\$E\$5)/(\$F\$5 \cdot B\$5/ \$A\$5+\$G\$5) \cdot \$H\$5 \cdot V17+\$I\$5)/(\$J\$5 \cdot V17+\$K\$5)$
Повна гальмівна сила вагонів, кгс	Y	$=B\$8 \cdot C\$8 \cdot (D\$8 \cdot B\$8/ \$A\$8+\$E\$8)/(\$F\$8 \cdot B\$8/ \$A\$8+\$G\$8) \cdot (\$H\$8 \cdot V17+\$I\$8)/(\$J\$8 \cdot V17+\$K\$8)$
Питома гальмівна сила, Н/т	Z	$=(X17+Y17)/(\$B\$2+\$C\$2)$
Зміна швидкості на кінець кроку інтегрування, км/год	AA	$=КОРЕНЬ(V17 \cdot V17+0,24 \cdot (\$L\$5 \cdot Z17+W17+D17) \cdot B17)-V17$
Швидкість службового гальмування на початку кроку інтегрування, км/год	AB	$=ЯКЩО(B17=0;0;V17+AA17)$
Зміна часу на кінець кроку інтегрування, хв	AC	$=ЯКЩО(B17=0;0;60 \cdot B17/(1000 \cdot (V17+AA17/2)))$

Продовження табл. Д.2

1	2	3
Час руху поїзда в режимі службового гальмування, хв	AD	=AD18+AC17
Сила струму (А) або витрата палива (кг / год) на інтервалі інтегрування	AE	=SS\$10·R17+\$T\$10
Допоміжне значення (А· год) або (кг)	AF	=AE17·S17/60
Витрата електроенергії (кВт· год) або палива (кг)	AG	=AG16+\$X\$10·AF17·(\$V\$10·AE17/\$U\$10+\$W\$10)
Проектна відмітка на кінець інтервалу інтегрування, м	AH	=AH16+B17·D17/1000
$I_d^2 \cdot \Delta t$	AI	=(AE17/\$U\$10)·(AE17/\$U\$10) ·S17
$\sum I_d^2 \cdot \Delta t$	AJ	=AJ16+AI17
Ефективний струм I_e , А	AK	=КОПІНЬ(AJ17/T17)

ДОДАТОК Е

Приклад вирішення гальмівної задачі

i	Vн	aгн		bгн	cгн	aгв		bгв	cгв	Сум	Кл	P	Коефіцієнти коефіцієнта тертя колодок										Нкл	
10	59,1	-0,0000191		-0,000343	0,06	-0,0000191		-0,000343	0,06	108000	177,2	0,6	0,016	100	0,08	100	1	100	5	100	8			
ax'	bx'	cx'		ao"	bo"	co"		MPT	tr2л	tr2в	Сум	Кв	Q											Нкв
3,5	0,01	0,0002		3	0,1	0,0025		0	27	27	607200	2152	0,6	0,016	100	0,08	100	1	100	5	100	264		
t	Vн	ktл	ktКл	φл	ktв	ktКв	φв	Br	Bм	B	w'	w"	w	г	dV	Vcp	Sn	dS	Sk	Vк				
																			0	59,1				
1	59,1	0,05964	6440,8932	0,16571942	0,05964	36212,1329	0,2222718	9116,318		0	9116,3	4,79	17,64	16,66	30,5782	1,019	58,59	0	16,275	16,2751	58,081			
2	58,081	0,11848	12795,3216	0,13385293	0,11848	71938,1414	0,2081635	16687,59		0	16688	4,755	17,24	16,29	33,4561	1,115	57,523	16,275	15,979	32,2537	56,966			
3	56,966	0,1764	19050,9084	0,11633997	0,1764	107108,441	0,1967563	23290,64		0	23291	4,719	16,81	15,89	35,8888	1,196	56,367	32,254	15,658	47,9114	55,769			
4	55,769	0,23329	25195,2768	0,10541592	0,23329	141653,445	0,1874265	29205,6		0	29206	4,68	16,35	15,46	38,0033	1,267	55,136	47,911	15,316	63,2269	54,502			
5	54,502	0,28904	31216,05	0,09807347	0,28904	175503,57	0,1797358	34605,74		0	34606	4,639	15,88	15,02	39,879	1,329	53,838	63,227	14,955	78,1818	53,173			
6	53,173	0,34353	37100,8512	0,09290429	0,34353	208589,23	0,1733676	39609,44		0	39609	4,597	15,39	14,57	41,5706	1,386	52,48	78,182	14,578	92,7597	51,787			
7	51,787	0,39664	42837,3036	0,08916212	0,39664	240840,84	0,1680887	44302,08		0	44302	4,554	14,88	14,1	43,1181	1,437	51,069	92,76	14,186	106,945	50,35			
8	50,35	0,44827	48413,0304	0,08641573	0,44827	272188,815	0,1637244	48747,58		0	48748	4,511	14,37	13,62	44,5515	1,485	49,608	106,95	13,78	120,725	48,865			
9	48,865	0,49829	53815,6548	0,0843996	0,49829	302563,57	0,1601422	52995,22		0	52995	4,466	13,86	13,14	45,8942	1,53	48,1	120,73	13,361	134,087	47,335			
10	47,335	0,5466	59032,8	0,08294244	0,5466	331895,52	0,1572412	57083,98		0	57084	4,421	13,34	12,66	47,165	1,572	46,549	134,09	12,93	147,017	45,763			
11	45,763	0,59307	64052,0892	0,08192986	0,59307	360115,079	0,1549443	61045,57		0	61046	4,376	12,81	12,17	48,379	1,613	44,957	147,02	12,488	159,505	44,151			
12	44,151	0,6376	68861,1456	0,0812838	0,6376	387152,663	0,1531931	64906,41		0	64906	4,331	12,29	11,68	49,5493	1,652	43,325	159,5	12,035	171,54	42,499			
13	42,499	0,68007	73447,5924	0,08095044	0,68007	412938,686	0,1519441	68689,2		0	68689	4,286	11,77	11,2	50,6868	1,69	41,654	171,54	11,571	183,11	40,809			
14	40,809	0,72036	77799,0528	0,08089287	0,72036	437403,564	0,1511663	72414,07		0	72414	4,241	11,24	10,71	51,8013	1,727	39,946	183,11	11,096	194,206	39,083			
15	39,083	0,75836	81903,15	0,0810866	0,75836	460477,71	0,1508396	76099,54		0	76100	4,196	10,73	10,23	52,902	1,763	38,201	194,21	10,611	204,818	37,319			
16	37,319	0,79396	85747,5072	0,08151671	0,79396	482091,54	0,1509535	79763,25		0	79763	4,152	10,21	9,753	53,9975	1,8	36,419	204,82	10,116	214,934	35,519			
17	35,519	0,82703	89319,7476	0,08217608	0,82703	502175,47	0,1515064	83422,77		0	83423	4,108	9,706	9,28	55,0961	1,837	34,601	214,93	9,6114	224,545	33,683			
18	33,683	0,85748	92607,4944	0,08306441	0,85748	520659,913	0,1525062	87096,26		0	87096	4,064	9,205	8,813	56,2067	1,874	32,746	224,55	9,0961	233,642	31,809			
19	31,809	0,88517	95598,3708	0,08418782	0,88517	537475,285	0,15397	90803,27		0	90803	4,02	8,71	8,354	57,3384	1,911	30,854	233,64	8,5704	242,212	29,898			
20	29,898	0,91	98280	0,08555891	0,91	552552	0,1559254	94565,6		0	94566	3,978	8,225	7,901	58,5015	1,95	28,923	242,21	8,0341	250,246	27,948			
21	27,948	0,93185	100640,005	0,08719729	0,93185	565820,474	0,1584121	98408,37		0	98408	3,936	7,748	7,458	59,7074	1,99	26,953	250,25	7,4869	257,733	25,958			
22	25,958	0,95061	102666,01	0,08913073	0,95061	577211,121	0,1614846	102361,4		0	102361	3,894	7,28	7,023	60,9697	2,032	24,941	257,73	6,9282	264,661	23,925			
23	23,925	0,96616	104345,636	0,09139683	0,96616	586654,356	0,1652151	106461		0	106461	3,854	6,824	6,598	62,3048	2,077	22,887	264,66	6,3575	271,019	21,848			
24	21,848	0,97839	105666,509	0,09404574	0,97839	594080,594	0,1696993	110752,6		0	110753	3,814	6,378	6,183	63,7328	2,124	20,786	271,02	5,774	276,793	19,724			
25	19,724	0,98719	106616,25	0,09714417	0,98719	599420,25	0,1750642	115294,2		0	115294	3,775	5,945	5,78	65,2794	2,176	18,636	276,79	5,1767	281,969	17,548			
26	17,548	0,99243	107182,483	0,10078141	0,99243	602603,739	0,1814791	120162		0	120162	3,737	5,525	5,389	66,978	2,233	16,432	281,97	4,5644	286,534	15,315			
27	15,315	1	108000	0,10493219	1	607200	0,1887432	125937,6		0	125938	3,7	5,118	5,01	69,0791	2,303	14,164	286,53	3,9345	290,468	13,013			
28	13,013	1	108000	0,11000973	1	607200	0,1978763	132031,5		0	132032	3,664	4,725	4,644	71,3293	2,378	11,824	290,47	3,2845	293,753	10,635			
29	10,635	1	108000	0,11605366	1	607200	0,2087476	139285,3		0	139285	3,629	4,346	4,292	74,0914	2,47	9,4004	293,75	2,6112	296,364	8,1655			
30	8,1655	1	108000	0,12341208	1	607200	0,2219833	148116,8		0	148117	3,595	3,983	3,954	77,545	2,585	6,8731	296,36	1,9092	298,273	5,5807			
31	5,5807	1	108000	0,13263523	1	607200	0,2385732	159186,2		0	159186	3,562	3,636	3,63	81,974	2,732	4,2144	298,27	1,1707	299,444	2,8482			
32	2,8482	1	108000	0,14465421	1	607200	0,2601919	173611,2		0	173611	3,53	3,305	3,322	87,859	2,929	1,3839	299,44	0,3844	299,828	-0,08			
33	0	1	108000	0,16067797	1	607200	0,2890141	192842,6		0	192843	3,5	3	3,038	95,8315	3,194	-1,5972	299,83	-0,444	299,385	-3,194			
34	0	1	108000	0,16067797	1	607200	0,2890141	192842,6		0	192843	3,5	3	3,038	95,8315	3,194	-1,5972	299,38	-0,444	298,941	-3,194			
35	0	1	108000	0,16067797	1	607200	0,2890141	192842,6		0	192843	3,5	3	3,038	95,8315	3,194	-1,5972	298,94	-0,444	298,497	-3,194			
36	0	1	108000	0,16067797	1	607200	0,2890141	192842,6		0	192843	3,5	3	3,038	95,8315	3,194	-1,5972	298,5	-0,444	298,054	-3,194			
37	0	1	108000	0,16067797	1	607200	0,2890141	192842,6		0	192843	3,5	3	3,038	95,8315	3,194	-1,5972	298,05	-0,444	297,61	-3,194			
38	0	1	108000	0,16067797	1	607200	0,2890141	192842,6		0	192843	3,5	3	3,038	95,8315	3,194	-1,5972	297,61	-0,444	297,166	-3,194			

V=f(i)	
i	V
10	59,1
5	56,1
0	53,1
-5	49,9
-10	46,5
-15	43



умова виконана за i=10 та V_н=59,1

ДОДАТОК Ж

Приклад тягового розрахунку

ТЯГОВІ РОЗРАХУНКИ ПО ПЕРЕГОНУ СТ. А – СТ. Б

Вихідні дані, розрахункові довжини та маси

Загальні дані: колія ланкова, незмінна; тепловозна тяга
Локомотив

Серія	Кіль-ть	Довж.	Маса, т, з екіп.		
			P_{10}	P_{20}	
ТЭМ7А	1	20.88	177.2	180	

Вагони загального призначення з буксами на роликових підшипниках

4-вісн.	К-ть	Довж.	Тара	Заван.	Бруто	q_0	Q_0	Довж.
пв	4	13.92	22	40	62	15.5	248.0	55.7
пв	12	13.92	21.1	70	91.1	22.8	1093.2	167.0
кр	17	14.73	22.7	25	47.7	11.9	810.9	250.4

Кільк. ваг.

33

Розрахункові довжини

Лс	Лп	Лу	Лтр
473.1	494.0	10	504

Розрахункові маси

Q	$P_{10}+Q$	$P_{20}+Q$
2152	2329	2332

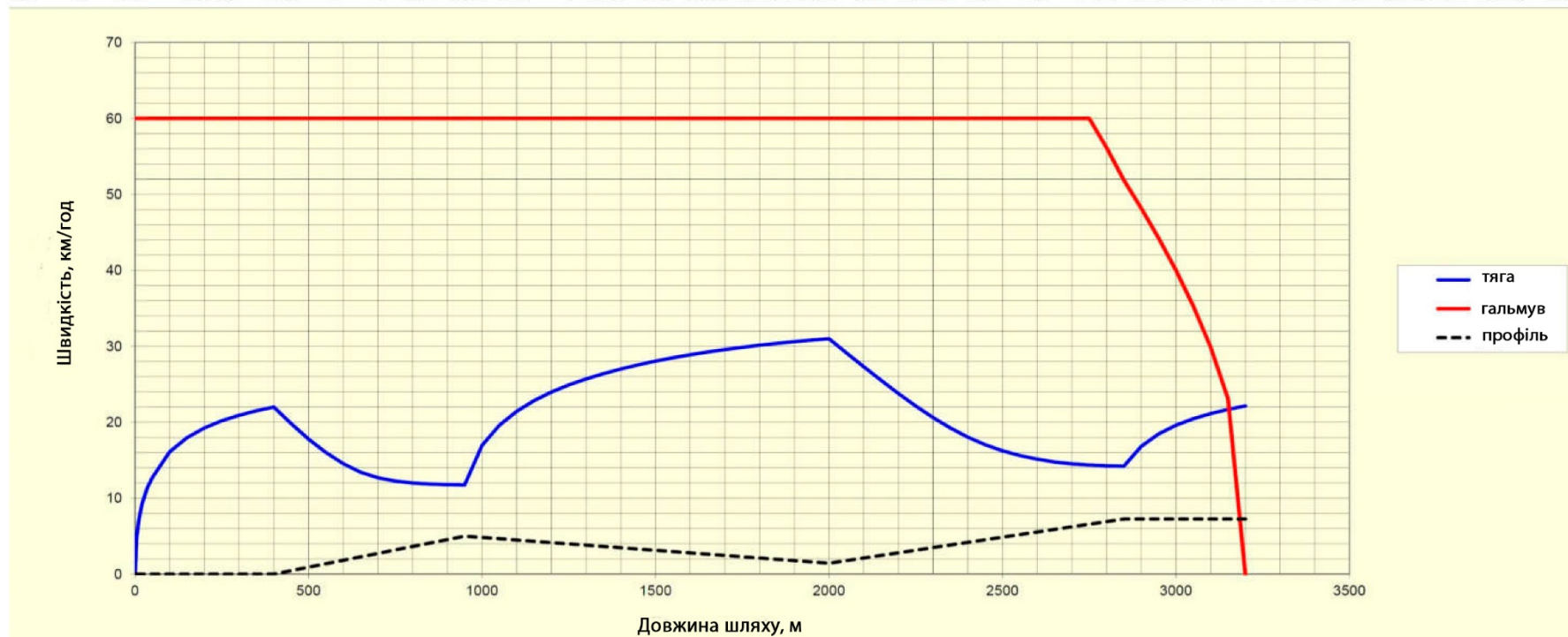


U	P _{тзмт}	Q	V _к	σ'	b'	c'	σ''	b''	c''	$\sigma_{\text{в}}$	b _в	c _в	d _в	e _в	h _в	m _в	n _в	z _в	Rnp
1	180	2152	0	3	0,01	2E-04	3	0,1	0,0025	0,25	8	100	20	0	0	3,5	400	3	800
60																			
Нкл	СКл	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	kg	Vmax	p	a	b	c				
8	108000	0,6	0,016	100	0,08	100	1	100	5	100	0,5	60	3	0,09305	0,0023225				
Нкв	СКв	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	Vmax	торм	ах'	bх'	сх'	ах	бх	сх	
264	607200	0,6	0,016	100	0,08	100	1	100	5	100	0,6429	52,89	3,5	0,0002	0,0002	3,039	0,0931	0,00022	
Тягова характеристика локомотива																			
V	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0				
F	55000	52000	34500	25500	19500	15500	13500	11500	10000	8750	7500	6000	5000	4000	3000				

Дані для розрахунку витрати електроенергії, А або палива, G

R	dS	S	ic	Vn	Vmax	V1	V2	F1	F2	F	kRFcc	Fcc	F	w	dV	Vk	Freal	dt	t	Rm	Vt kx	Вт лок	Вт ваг	bt	dVt	Vt n	dtr	tr	I(G)	Idt	A, G	Відмітки	
800	5	0	0	0	52,89	0	5	55000	52000	55000	1	59400	55000	3	4,9698772	4,97	55000	0,120725	0,1207	0,273	0	17	6941	70196	33	0,3	60,3	0	3,52	306	0,615697	0,615697	0
800	5	10	0	4,97	52,89	0	5	55000	52000	52018	1	52222	52018	3,51984	1,9033869	6,873	52018	0,050661	0,1714	0,5351	0	17	6941	70196	33	0,3	60,3	0	3,52	306	0,258373	0,87407	0
800	10	20	0	6,8734	52,89	5	10	52000	34500	45443	1	51064	45443	3,74931	2,3467828	9,22	45443	0,074564	0,246	0,9895	0	17	6941	70196	33	0,7	60,7	0	3,51	306	0,380277	1,254348	0
800	15	35	0	9,2201	52,89	5	10	52000	34500	37229	1	50063	37229	4,0554	2,0883372	11,31	37229	0,087682	0,3336	1,548	60	17	6941	70196	33	1	61	0	3,5	306	0,44718	1,701528	0
800	15	50	0	11,308	52,89	10	15	34500	25500	32145	1	49415	32145	4,3493	1,4133592	12,72	32145	0,074905	0,4085	2,0301	60	17	6941	70196	33	1	61	0	3,49	306	0,382017	2,083545	0
800	50	100	0	12,722	52,89	10	15	34500	25500	29601	1	49063	29601	4,55969	3,3853463	16,11	29601	0,208124	0,6167	3,5102	60	17	6941	70196	33	3,3	63,3	0	3,47	306	1,06143	3,144975	0
800	50	150	0	16,107	52,89	15	20	25500	19500	24171	1	48411	24171	5,10138	1,8538985	17,96	24171	0,176117	0,7928	4,7187	60	17	6941	70196	33	3,3	63,3	0	3,42	306	0,898196	4,043171	0
800	50	200	0	17,961	52,89	15	20	25500	19500	21947	1	48136	21947	5,42057	1,2868259	19,25	21947	0,161251	0,954	5,8161	60	17	6941	70196	33	3,3	63,3	0	3,37	306	0,922362	4,865553	0
800	50	250	0	19,248	52,89	15	20	25500	19500	20403	1	47969	20403	5,65152	0,9423455	20,19	20403	0,152137	1,1062	6,8362	60	17	6941	70196	33	3,3	63,3	0	3,33	306	0,775898	5,641451	0
800	50	300	0	20,19	52,89	20	25	19500	15500	19348	1	47858	19348	5,82552	0,7213604	20,91	19348	0,145979	1,2521	7,8036	60	17	6941	70196	33	3,3	63,3	0	3,28	306	0,744491	6,385942	0
800	50	350	0	20,912	52,89	20	25	19500	15500	18771	1	47779	18771	5,96151	0,5905624	21,5	18771	0,141463	1,3936	8,7421	60	17	6941	70196	33	3,3	63,3	0	3,23	306	0,721463	7,107406	0
800	50	400	0	21,502	52,89	20	25	19500	15500	18298	1	47717	18298	6,07464	0,4887996	21,99	18298	0,137953	1,5316	9,657	60	17	6941	70196	33	3,3	63,3	0	3,18	306	0,703559	7,810965	0
800	50	450	9,08	21,991	58,7275	20	25	19500	15500	17907	1	47668	17907	6,1695	-2,173003	19,82	17907	0,14351	1,6751	10,552	60	17	6941	70196	33	4,1	64,1	0	3,13	306	0,731901	8,542865	0,454
800	50	500	9,08	19,818	58,7275	15	20	25500	19500	19718	1	47901	19718	5,75629	-2,036543	17,78	19718	0,159577	1,8346	11,538	60	17	6941	70196	33	4,1	64,1	0	3,08	306	0,813842	9,356707	0,908
800	50	550	9,08	17,781	58,7275	15	20	25500	19500	22162	1	48150	22162	5,1763014	16,02	22162	0,177516	2,0122	12,646	60	17	6941	70196	33	4,1	64,1	0	3,03	306	0,905329	10,26204	1,362	
800	50	600	9,08	16,018	58,7275	15	20	25500	19500	24278	1	48426	24278	4,08649	-4,74943	14,54	24278	0,196322	2,2005	13,86	60	17	6941	70196	33	4,1	64,1	0	2,99	306	1,001243	11,26328	1,816
580	50	650	9,08	14,544	58,7275	10	15	34500	25500	26322	0,9486	46182	26322	4,84457	-1,132373	13,41	26322	0,214632	2,4231	15,176	60	17	6941	70196	33	4,1	64,1	0	2,94	306	0,946425	12,3579	2,27
580	50	700	9,08	13,411	58,7275	10	15	34500	25500	28360	0,9486	46397	28360	4,66568	-0,728937	12,68	28360	0,229943	2,6531	16,594	60	17	6941	70196	33	4,1	64,1	0	2,89	306	1,172707	13,53061	2,724
580	50	750	9,08	12,682	58,7275	10	15	34500	25500	29672	0,9486	46549	29672	4,55368	-0,438293	12,24	29672	0,24071	2,8938	18,078	60	17	6941	70196	33	4,1	64,1	0	2,84	306	1,227622	14,75823	3,178
580	50	800	9,08	12,244	58,7275	10	15	34500	25500	30461	0,9486	46648	30461	4,48752	-0,250506	11,99	30461	0,247551	3,1413	19,601	60	17	6941	70196	33	4,1	64,1	0	2,79	306	1,262509	16,02074	3,632
800	50	850	9,08	11,993	58,7275	10	15	34500	25500	30912	1	49237	30912	4,45011	-0,138478	11,85	30912	0,251589	3,3929	21,147	60	17	6941	70196	33	4,1	64,1	0	2,74	306	1,283102	17,30384	4,086
800	50	900	9,08	11,855	58,7275	10	15	34500	25500	31161	1	49272	31161	4,42955	-0,075029	11,78	31161	0,253861	3,6468	22,705	60	17	6941	70196	33	4,1	64,1	0	2,7	306	1,284692	18,59854	4,54
800	50	950	9,08	11,778	58,7275	10	15	34500	25500	31296	1	49291	31296	4,41845	-0,040185	11,74	31296	0,255105	3,9019	24,269	60	17	6941	70196	33	4,1	64,1	0	2,65	306	1,301049	19,89987	4,994
800	50	1000	-3,39	11,74	50,7106	10	15	34500	25500	31368	1	49301	31368	4,41252	5,2001337	16,94	31368	0,209207	4,1111	25,838	60	17	6941	70196	33	2,9	62,9	0	2,6	306	1,06957	20,96653	4,8245
800	50	1050	-3,39	16,94	50,7106	15	20	25500	19500	23172	1	48282	23172	5,24278	2,6550131	19,59	23172	0,164227	4,2753	26,996	60	17	6941	70196	33	2,9	62,9	0	2,55	306	0,874577	21,80408	4,655
800	50	1100	-3,39	19,595	50,7106	15	20	25500	19500	19986	1	47927	19986	5,71512	1,827017	21,42	19986	0,146281	4,4216	27,996	60	17	6941	70196	33	2,9	62,9	0	2,5	306	0,746034	22,55012	4,4855
800	50	1150	-3,39	21,422	50,7106	20	25	19500	15500	18362	1	47725	18362																				

250	50	1850	-3,39	30,133	50,7106	30	35	13500	11500	13447	0,7609	35798	13447	7,91278	0,2465303	30,38	13447	0,099153	6,0884	39,179	60	17	6941	70196	33	2,9	62,9	0	1,77	306	0,505681	31,05081	1,943	
250	50	1900	-3,39	30,38	50,7106	30	35	13500	11500	13348	0,7609	35788	13348	7,97037	0,224972	30,6	13348	0,098386	6,1868	39,846	60	17	6941	70196	33	2,9	62,9	0	1,72	306	0,501771	31,55258	1,7735	
250	50	1950	-3,39	30,604	50,7106	30	35	13500	11500	13258	0,7609	35778	13258	8,02317	0,2055389	30,81	13258	0,097697	6,2845	40,509	60	17	6941	70196	33	2,9	62,9	0	1,67	306	0,498253	32,05084	1,604	
800	50	2000	-3,39	30,81	50,7106	30	35	13500	11500	13176		1	47011	13176	8,07161	0,1879806	31	13176	0,097075	6,3816	41,168	60	17	6941	70196	33	2,9	62,9	0	1,62	306	0,495081	32,54592	1,4345
800	50	2050	6,84	30,998	57,2874	30	35	13500	11500	13101		1	47000	13101	8,11609	-1,863585	29,13	13101	0,09978	6,4813	41,823	60	17	6941	70196	33	3,9	63,9	0	1,57	306	0,508877	33,0548	1,7765
800	50	2100	6,84	29,134	57,2874	25	30	15500	13500	13846		1	47109	13846	7,68241	-1,825221	27,31	13846	0,106301	6,5876	42,515	60	17	6941	70196	33	3,9	63,9	0	1,53	306	0,542134	33,59693	2,1185
800	50	2150	6,84	27,309	57,2874	25	30	15500	13500	14576		1	47228	14576	7,2733	-1,785949	25,52	14576	0,113567	6,7012	43,244	60	17	6941	70196	33	3,9	63,9	0	1,48	306	0,579189	34,17612	2,4605
800	50	2200	6,84	25,523	57,2874	25	30	15500	13500	15291		1	47359	15291	6,88798	-1,745528	23,78	15291	0,121701	6,8229	44,009	60	17	6941	70196	33	3,9	63,9	0	1,43	306	0,620677	34,7968	2,8025
800	50	2250	6,84	23,778	57,2874	20	25	19500	15500	16478		1	47502	16478	6,52568	-1,646754	22,13	16478	0,130694	6,9536	44,833	60	17	6941	70196	33	3,9	63,9	0	1,38	306	0,66654	35,46334	3,1445
800	50	2300	6,84	22,131	57,2874	20	25	19500	15500	17795		1	47654	17795	6,19687	-1,517768	20,61	17795	0,14037	7,094	45,722	60	17	6941	70196	33	3,9	63,9	0	1,33	306	0,715887	36,17922	3,4865
800	50	2350	6,84	20,613	57,2874	20	25	19500	15500	19009		1	47811	19009	5,90496	-1,383562	19,23	19009	0,150592	7,2446	46,673	60	17	6941	70196	33	3,9	63,9	0	1,28	306	0,768017	36,94724	3,8285
800	50	2400	6,84	19,23	57,2874	15	20	25500	19500	20424		1	47972	20424	5,64819	-1,201433	18,03	20424	0,16104	7,4056	47,694	60	17	6941	70196	33	3,9	63,9	0	1,24	306	0,821303	37,76854	4,1705
800	50	2450	6,84	18,028	57,2874	15	20	25500	19500	21866		1	48127	21866	5,43243	-0,991159	17,04	21866	0,171109	7,5767	48,787	60	17	6941	70196	33	3,9	63,9	0	1,19	306	0,872658	38,6412	4,5125
800	50	2500	6,84	17,037	57,2874	15	20	25500	19500	23056		1	48267	23056	5,25948	-0,798167	16,24	23056	0,18031	7,757	49,94	60	17	6941	70196	33	3,9	63,9	0	1,14	306	0,919583	39,56078	4,8545
800	50	2550	6,84	16,239	57,2874	15	20	25500	19500	24013		1	48390	24013	5,12353	-0,627942	15,61	24013	0,188384	7,9454	51,141	60	17	6941	70196	33	3,9	63,9	0	1,09	306	0,960759	40,52154	5,1965
800	50	2600	6,84	15,611	57,2874	15	20	25500	19500	24767		1	48493	24767	5,01864	-0,483563	15,13	24767	0,195196	8,1406	52,379	60	17	6941	70196	33	3,9	63,9	0	1,04	306	0,9955	41,51704	5,5385
800	50	2650	6,84	15,127	57,2874	15	20	25500	19500	25347		1	48577	25347	4,93913	-0,365477	14,76	25347	0,200741	8,3413	53,647	60	17	6941	70196	33	3,9	63,9	0	0,99	306	1,023778	42,54082	5,8805
800	50	2700	6,84	14,762	57,2874	10	15	34500	25500	25929		1	48643	25929	4,87975	-0,246591	14,52	25929	0,204937	8,5463	54,943	60	17	6941	70196	33	3,9	63,9	0	0,95	306	1,045181	43,586	6,2225
800	50	2750	6,84	14,515	57,2874	10	15	34500	25500	26372		1	48689	26372	4,84003	-0,154418	14,36	26372	0,207783	8,7541	56,262	60	17	6941	70196	33	3,9	63,9	0	0,9	306	1,059696	44,6457	6,5645
800	50	2800	6,84	14,361	57,2874	10	15	34500	25500	26650		1	48719	26650	4,81531	-0,095439	14,27	26650	0,209597	8,9637	57,594	56,1	15,6	7117	71974	34	4,1	60,2	0,1	0,85	306	1,068945	45,71464	6,9065
800	50	2850	6,84	14,265	57,2874	10	15	34500	25500	26822		1	48737	26822	4,80008	-0,058492	14,21	26822	0,21073	9,1744	58,935	51,9	14,1	7334	74165	35	4,3	56,1	0,1	0,8	306	1,074724	46,78937	7,2485
800	50	2900	0	14,207	52,89	10	15	34500	25500	26927		1	48749	26927	4,79077	2,6128427	16,82	26927	0,193381	9,3678	60,282	48,2	12,9	7544	76288	36	3,7	51,9	0,1	0,74	306	0,986245	47,77561	7,2485
800	50	2950	0	16,82	52,89	15	20	25500	19500	23316		1	48300	23316	5,22218	1,6251152	18,44	23316	0,170142	9,5379	61,447	44,2	11,7	7793	78808	37	3,9	48,2	0,1	0,68	306	0,867722	48,64333	7,2485
800	50	3000	0	18,445	52,89	15	20	25500	19500	21366		1	48071	21366	5,50651	1,1529846	19,6	21366	0,157717	9,6956	62,516	40	10,5	8098	81898	39	4,2	44,2	0,1	0,62	306	0,804357	49,44769	7,2485
800	50	3050	0	19,598	52,89	15	20	25500	19500	19983		1	47927	19983	5,71567	0,8547582	20,45	19983	0,149811	9,8454	63,515	35,3	9,22	8491	85870	40	4,7	40	0,1	0,54	306	0,764034	50,21173	7,2485
800	50	3100	0	20,453	52,89	20	25	19500	15500	19138		1	47829	19138	5,87471	0,6729201	21,13	19138	0,144306	9,9897	64,472	29,9	7,89	9036	91383	43	5,4	35,3	0,1	0,47	306	0,735962	50,94769	7,2485
800	50	3150	0	21,126	52,89	20	25	19500	15500	18600		1	47756	18600	6,00231	0,5531594	21,68	18600	0,140173	10,13	65,402	23,1	6,42	9916	1E+05	47	6,8	29,9	0,1	0,37	306	0,714881	51,66257	7,2485
800	50	3200	0	21,679	52,89	20	25	19500	15500	18157		1	47699	18157	6,10877	0,4592534	22,14	18157	0,136934	10,267	66,31	0	3,04	17353	2E+05	83	23	23,1	0,3	0,26	306	0,698363	52,36093	7,2485



Навчальне видання

*Дмитро Валерійович Бобирь, Михайло Іванович Капіца,
Володимир Никандрович Сердюк*

**ТЕОРІЯ ЛОКОМОТИВНОЇ ТЯГИ.
ТЯГОВІ РОЗРАХУНКИ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

Навчальний посібник

Відальний редактор М. І. Капіца
Комп'ютерна верстка Д. В. Бобирь
Дизайн обкладинки Є. Б. Боднар

Видавець: Український державний університет науки і технологій.
вул. Лазаряна, 2, ауд. 1201, м. Дніпро, 49010.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.2003

Надруковано: Друкарня ТОВ підприємство «Дріант».
просп. С. Нігояна, 55, м. Дніпро.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6593 від 28.01.2019

