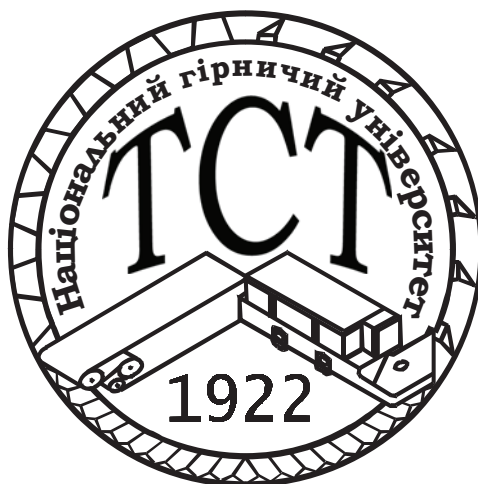


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ



**РОЗРАХУНОК**  
**ШАХТНОГО ЛОКОМОТИВНОГО ТРАНСПОРТУ**

Навчальний посібник

Дніпропетровськ  
2007

УДК 622.625.28  
ББК 33.16  
Р65

*Затверджено до видання  
навчально-методичним управлінням університету*

Рецензенти:

**В.І. Самуся**, завідувач кафедри гірничої механіки Національного гірничого університету, д-р техн. наук, професор;

**В.Ю. Максютенко**, завідувач відділом фізико-механічних основ гірничого транспорту ІГТМ НАН України, канд. техн. наук, старш. наук. співробітник.

**Розрахунок** шахтного локомотивного транспорту: Навч. посіб. / О.О. Ренгевич, О.М. Коптовець, П.А. Дьячков та ін. – Д.: Національний гірничий університет, 2007. – 83 с.

Основою книги є навчальний посібник “Расчет шахтного электровозного транспорта,” написаний співробітниками кафедри рудникового транспорту колишнього Гірничого інституту О.О. Ренгевичем і М.К. Мехедою (1988 р., видавництво “УМК ВО”).

Окрім переробки та перекладу на українську мову, авторами доповнено методичку розрахунку локомотивної відкатки дизелевозами та гіровозами, оновлено довідковий матеріал, програму рішення на ЕОМ з використанням середовища Borland Delphi 7.

Для студентів вищих навчальних закладів з напрямів підготовки 7.050301 “Розробка родовищ корисних копалин” зі спеціалізаціями “Підземна розробка родовищ корисних копалин”, “Транспортні системи і логістика гірничих підприємств”, 05030102 “Гірниче обладнання” та 05070204 “Електромеханічне обладнання енергоємних систем”.

Видання рекомендовано й для інших спеціальностей та спеціалізацій.

УДК 622.625.28  
ББК 33.16  
Р65

© Ренгевич О.О., Коптовець О.М., Дьячков П.А. та ін., 2007  
© Національний гірничий університет, 2007



**Ренгевич Олександр Олександрович**

Видатний фахівець у галузі досліджень рухомого складу локомотивного транспорту, гірничий інженер-електромеханік, учасник Великої Вітчизняної війни, ректор Гірничого інституту (1963-1972 рр.), завідувач кафедри рудникового транспорту (1972-1988 рр.), доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки та техніки України, лауреат стипендії Президента України, заслужений професор НГУ

## ЗМІСТ

<b>Вступ</b> .....	6
<b>Основні умовні позначення</b> .....	10
1. Вихідні дані та задачі розрахунку .....	11
2. Вибір типу електровоза .....	11
3. Обробка вихідних даних .....	11
4. Визначення кількості вагонів у составі .....	16
5. Визначення кількості електровозів та їх продуктивності .....	24
6. Розрахунок кількості тягових батарей і зарядних столів .....	26
7. Основні показники електровозного транспорту .....	28
8. Вибір основного устаткування зарядної і тягової підстанції .....	29
9. Розрахунок локомотивної відкатки дизелевозами .....	30
10. Розрахунок локомотивної відкатки інерційними локомотивами (гіровозами) .....	33
11. Приклади розрахунку шахтного електровозного транспорту .....	36
12. Розрахунок локомотивного транспорту за допомогою сучасних математичних пакетів та мов програмування .....	50
<b>Додатки</b> .....	55
<b>А Довідкові матеріали (таблиці)</b> .....	55
1. Технічна характеристика шахтних контактних електровозів .....	50
2. Технічна характеристика шахтних акумуляторних електровозів .....	51
3. Технічна характеристика шахтних вантажних вагонів і секційних поїздів .....	52
4. Технічна характеристика вагонів для перевезення людей .....	53
5. Технічна характеристика тягових акумуляторних батарей .....	53
6. Типи локомотивів залежно від категорії шахти .....	54
7. Технічна характеристика тягових підстанцій з напівпровідниковими випрямлячами .....	55
8. Технічна характеристика зарядних підстанцій з напівпровідниковими випрямлячами .....	56
9. Характеристика вантажів, що транспортуються .....	56
10. Характеристика рухомих одиниць состава .....	57
11. Технічна характеристика тягових електродвигунів шахтних електровозів .....	57
<b>Б Тягові характеристики локомотива та електромеханічні характеристики двигунів</b> .....	58
1. Електромеханічна характеристика тягового двигуна ЕДР-7П з батареєю 66ТЖН-250 і 66ТЖН-300, зведена до ободу колеса електровоза 5АРВ (4,5АРП2М) .....	60
2. Електромеханічна характеристика тягового двигуна ЕДР-6 з батареєю 66ТЖН-250 і 66ТЖН-300, зведена до ободу колеса електровоза 5АРВ-1 (4,5АРП2) .....	61
3. Електромеханічна характеристика тягового двигуна ЕДР-10Б з батареєю 80ТЖН-350, зведена до ободу колеса електровоза 8АРП-1 ..	62

4. Електромеханічна характеристика тягового двигуна ДПТР-12 з батареєю 112ТНЖШ-550, зведена до ободу колеса електровоза АРП10 з тиристорною системою керування .....	63
5. Електромеханічна характеристика тягового двигуна ДРТ-10 з батареєю 90ТНЖШ-350 (88ТНК-400), зведена до ободу колеса електровоза АРП7-600 (АРВ7-600) .....	64
6. Електромеханічна характеристика тягового двигуна ДПТР-12 з батареєю 96ТЖН-350, зведена до ободу колеса електровоза АМ-8Д ...	65
7. Електромеханічна характеристика тягового двигуна ДПТР-12 з батареєю 112ТЖН-350, зведена до ободу колеса електровоза АМ-8Д	66
8. Електромеханічна характеристика тягового двигуна ДРТ-10 з батареєю 102ТНЖШ-550, зведена до ободу колеса електровоза АРП7-900 .....	67
9. Електромеханічна характеристика тягового двигуна ЕТ-23,5 з батареєю 161ТНЖК-650, зведена до ободу колеса електровоза АРП14	68
10. Електромеханічна характеристика тягового двигуна ЕТ-26 з батареєю 182ТНЖК-650, зведена до ободу колеса електровоза АРП28	69
11. Електромеханічна характеристика тягового двигуна ДПТР-12 з батареєю 112ТЖН-350, зведена до ободу колеса електровоза АМ8-2	70
12. Електромеханічна характеристика тягового двигуна ЕТ-31, зведена до ободу колеса електровоза К-10 .....	71
13. Електромеханічна характеристика тягового двигуна ЕТ-46 (ЕТ-47), зведена до ободу колеса електровоза К-14 та 14КР-2А .....	72
14. Електромеханічна характеристика тягового двигуна ДК-809А, зведена до ободу колеса електровоза 14КР-1 і 14КР-2 .....	73
15. Електромеханічна характеристика тягового двигуна ЕДР-25Б, зведена до ободу колеса електровоза 7КР, 10КР1, 10КР-2 .....	74
16. Тягова характеристика дизелевоза ДМ40. ....	75
17. Тягова характеристика дизелевоза ДГ70 .....	76
18. Тягова характеристика дизелевоза ДГ35.Д.О .....	76
<b>В Розрахунок локомотивного транспорту за допомогою сучасних математичних пакетів та мов програмування .....</b>	<b>77</b>
<b>Г Блок-схема програми розрахунку електровозної відкатки .....</b>	<b>79</b>
1. База даних параметрів рухомого складу .....	80
2. Робоче вікно програми для розрахунку кількості рухомого складу в складі .....	81
<b>Рекомендована література .....</b>	<b>82</b>

## ВСТУП

У літературі опубліковані методики розрахунку шахтного електровозного транспорту, орієнтовані на рішення задач за наявності ідеалізованих профілів, близьких за своїм значенням до ухилу рівного опору (0,002...0,003), і “нормальних” профілів, нормованих правилами безпеки (ухили до 0,005).

Дійсні профілі істотно відрізняються від наведених. Діапазон зміни профілів містить ухили від 0 до 0,050, причому можливість застосування шахтного локомотивного транспорту при таких ухилах санкціонована правилами безпеки. Їх питома вага на вугільних шахтах сягає 20% загальної довжини, а незначні відхилення від нормального профілю на шахтних рейкових коліях зустрічаються повсюдно.

Іншою обставиною, що суттєво впливає на результати тягових і гальмових розрахунків локомотивного транспорту, є прийняття обґрунтованих значень коефіцієнта зчеплення локомотивів, коефіцієнта опору руху, енергетичних показників транспорту та інших параметрів.

В останні роки на шахти України надходять зарубіжні дизелевози, досвіду експлуатації і методик тягових розрахунків яких немає, а також в вугільній галузі розробляються та виготовляються електровози з кислотними тяговими батареями і вітчизняні дизелевози вибухонебезпечного виконання.

У даному навчальному посібнику враховані відзначені особливості, прийняті достовірні значення вказаних величин, отриманих при проведенні шахтних експериментів, та з їх врахуванням запропонована методика розрахунку шахтного локомотивного транспорту, що забезпечує досить високу точність результатів, у першу чергу вагових норм потягів і показників ефективності гальмування, безпосередньо пов'язаних з безпекою експлуатації локомотивного транспорту.

Щодо вимог до обладнання локомотивної відкатки, його поточного обслуговування та експлуатації, організації руху составів, технологічних схем локомотивного транспорту, вимог до проекту на безпечне перевезення людей і вантажів локомотивним транспортом, слід звертатися до галузевого стандарту з безпеки локомотивного транспорту у виробках з ухилом колії від 0,005 до 0,050. Дана методика тягових розрахунків повністю забезпечує виконання вимог цього нормативного документу (СОУ10.100185790.007: 2006).

Програма розрахунку параметрів локомотивного транспорту адаптована для рішень проектних задач за допомогою засобів технологічної лінії автоматизованого проектування підземного транспорту (ТЛП “Підземний

транспорт” САПР-вугілля). Програма дозволяє виконувати повний комплекс розрахунку технологічних параметрів, необхідних на стадії “проект” та “робоча документація” при розробці проекту нових шахт, реконструкції та підготовці нових горизонтів, а також при аналізі стану діючих систем підземного транспорту (технологічне переозброєння, перспективне планування).

Алгоритм рішення задач, логічна структура програми забезпечує умови роботи програм в автоматизованому та автономному режимах.

Нормативні посилання.

ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности (ССБП. Шум. Загальні вимоги до безпеки).

ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (ССБП. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони).

ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрация. Общие требования безопасности (ССБП. Вібрація. Загальні вимоги до безпеки).

ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ Оборудование производственное. Общие требования безопасности (ССБП Обладнання виробниче. Загальні вимоги до безпеки).

ГОСТ 12.2.112-86 ССБТ Транспорт рудничный электровозный. Общие требования безопасности к подвижному составу (ССБП Транспорт рудниковий електровозний. Загальні вимоги безпеки до рухомого складу).

ГСТУ 101.00185790-001-2003 Підземні гаражі для дизелевозів. Вимоги до оснащення та експлуатації.

СОУ 10.1-00185790-002-2005 Правила технічної експлуатації вугільних шахт.

НПАОП 10.0-1.01-05 Правила безпеки у вугільних шахтах.

НПАОП 10.0-5.31-81 Інструкція щодо безпечної постановки рухомого складу на рейки.

НПАОП 10.9-7.09-82 Тимчасові вимоги безпеки до основного гірничо-транспортного обладнання для вугільних та сланцевих шахт.

НПАОП 10.0-7.11-80 Єдині вимоги до сигналів і знаків у підземних виробках і на шахтному транспорті.

НАПБ Б.01.009-2004 Правила пожежної безпеки для підприємств вугільної промисловості України.

ДСП 3.3.1.95-2002 Підприємства вугільної промисловості.

ДСанПіН 2.2.7.029-99 Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення.

ТУ 12.44.1031-83 Гировозы шахтные Г6 (Гіровози шахтні Г6).

Умови, експлуатація і технічний стан локомотивів та рухомого складу повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.003, ГОСТ 12.1.005, ГОСТ 12.1.012, ГОСТ 12.2.003, ГОСТ 12.2.112, СОУ 10.1-00185790-002, НПАОП 10.0-1.01, НПАОП 10.0-7.09, НАПБ Б.01.009, ДСП 3.3.1.095, “Тимчасові норми і технічні вимоги безпечної експлуатації дизельних локомотивів (машин) у вугільних шахтах”. Макіївка-Донбас, МакНДІ, 1975. – 11 с.

Терміни.

Використано терміни, що використовуються в нормативах “Основні положення до проектування підземного транспорту для нових та діючих вугільних шахт”: пристовбурний двір, навантажувальний пункт, приймально-відправний майданчик, перевантажувальний пункт; “Правила технічної експлуатації залізниць України”: рухомий склад, потяг, потяг пасажирський, колійний знак, сигнал, сигнальний знак, стрілочний перевід, гальмування службове, гальмування екстрене, гальмівний шлях, ухил.

Класифікація.

По типу локомотива:

- електровозний (контактний або акумуляторний);
- дизелевозний;
- гіровозний.

За принципом розвантажування рухомого складу:

- потягами з розвантажуванням через дно;
- вагонетками з глухим кузовом.

Вимоги до обладнання локомотивної відкатки, його поточного обслуговування та експлуатації

1. Під час перевезення людей і вантажів у виробках з ухилом колії від 0,005 до 0,050 локомотиви повинні бути обладнані колодковими гальмами, динамічним гальмуванням і додатковими спеціальними засобами гальмування заводського виготовлення (системою електромагнітних, магнітних рейкових гальм та ін.).

Електровози без додаткових засобів гальмування повинні застосовуватися у виробках з ухилом колії не більше 0,020.

2. До освоєння серійного виробництва локомотивів, обладнаних додатковими засобами гальмування, можна застосувати електровози, обладнані тільки колодковими гальмами і системою електродинамічного гальмування.

Локомотиви обов’язково повинні бути обладнані вимірниками швидкості.

3. Під час експлуатації локомотивів, що не відповідають вимогам п. 1, у виробках з ухилом колії більше ніж 0,005 треба приймати швидкість руху потяга, що відповідає розрахунковій для найбільшого ухилу на ділянках довжиною, рівною довжині потяга плюс довжина гальмового шляху. При цьому у виробках з ухилом колії від 0,021 до 0,030 вводиться обмеження швидкості до 2,5 м/с.

У виробках з ухилом колії від 0,031 до 0,040 швидкість повинна бути обмежена до 2,0 м/с, а вагова норма повинна бути до 80 % від розрахункової.

У виробках з ухилом колії від 0,041 до 0,050 максимальна швидкість не повинна перевищувати 1 м/с, а вагова норма повинна бути 60 % від розрахункової.

4. Перевірка стану гальмових систем повинна здійснюватися машиністом локомотиву кожної зміни до початку виконання змінного наряду, їхній огляд і регулювання – електрослюсарем ремонтної зміни щодоби, огляд механіком дільниці шахтного транспорту – щомісяця, за графіком із записом у книгу “Оглядів...”.



Регулювання та огляд гальмової системи повинні проводитись в локомотивному гаражі або в місцях, які спеціально обладнані для таких цілей.

5. Регулювання колодкових гальм повинно проводитись відповідно до інструкції з експлуатації локомотивів. Товщина гальмових колодок локомотива повинна бути не менше 15 мм, а прокат сталевих бандажів не повинен перевищувати 10 мм.

6. Пісочниці повинні засипатися чистим піском, вологість якого згідно з НПАОП 10.0-7.09 повинна бути не більше 7 %. Перевірка і регулювання пісочниць повинні проводитись машиністом локомотива перед виїздом на лінію.

7. У кабіні машиніста повинні бути засоби протипожежної безпеки згідно з НАПБ Б.01.009.

8. До керування локомотивами у виробках із підвищеним ухилом колії повинні допускатися машиністи локомотивів, що знаходяться в штаті дільниць шахтного транспорту, які пройшли додаткове навчання по водінню локомотивів із заданою швидкістю в складних умовах і мають відповідний допуск.

9. Гірничі виробки, що мають підвищений ухил колії, за усіма параметрами (крім розміру ухилу) повинні відповідати вимогам НПАОП 10.0-1.01.

10. У виробках з ухилом колії від 0,005 до 0,050 тип рейок, радіуси заокруглень, розширення і звуження колії, зношення головки рейок, стан переводів стрілочних, улаштування колії, водовідвідні канавки, сигнали колії повинні відповідати вимогам НПАОП 10.0-1.01.

11. Один раз в півроку, а також під час ремонту колії або підриві ґрунту, повинно проводитись маркшейдерське нівелювання колії.

12. Стрілочні переводи в виробках із завищеним ухилом повинні бути обладнані пристроями автоматичного або дистанційного управління. Канавки для тяг стрілочних переводів повинні бути перекриті.

Графіки встановлення стрілочних переводів, що мають автоматичне або дистанційне управління, розробляє начальник дільниці шахтного транспорту, узгоджує дільничний гірничотехнічний інспектор і затверджує директор шахти.

13. З метою запобігання самовільного відходу вагонеток, що відчепились під час руху навантажених і порожніх вантажних потягів на ухилах рейкового шляху від 0,020 до 0,050, треба застосовувати запобіжні канати, що мають розривне статичне зусилля не менше 60 кН, які з'єднують останню вагонетку потяга з локомотивом, або уловлювачі заводського виготовлення з автоматично падаючою упорною вилкою, допущені до експлуатації в установленому порядку.

Під час руху пасажирських вагонеток і потягів на ухилах від 0,020 до 0,050 на відстані від 10 м до 15 м за ними повинен рухатися другий локомотив, який ловить вагонетки, що відчепилися від потяга.

14. Для світлового позначення потяга на останній вагонетці повинен бути встановлений ліхтар з червоним світлом. Коли локомотив знаходиться в хвості потяга, ліхтар встановлюється на передній зовнішній стінці першої в напрямку руху вагонетки.

## ОСНОВНІ УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

$i$  – ухил колії, ‰;

$i_c$  – середній ухил, ‰;

$i_k$  – керівний ухил, ‰;

$w_0$  – основний питомий опір руху, Н/кН;

$w_{зр}$  та  $w_{кр}$  – додатковий питомий опір відповідно при зрушенні і від кривої, Н/кН;

$w_k$  – загальний (комплексний) питомий опір, Н/кН;

$m$ ,  $m_0$  та  $m_n$  – маса відповідно вантажу (вантажопідйомність) вагона, тари та потяга, т;

$m_{н.п.}$  та  $m_{н.з.}$  – маса відповідно порожнього та навантаженого поїзда, т;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$a_i$  – прискорення потяга, м/с;

$a_0$  – розрахункове прискорення при зрушенні;

$F$  – сила тяги, Н;

$F_d$  – дотична сила тяги, Н;

$B$  – гальмова сила, Н;

$B_z$  та  $B_m$  – гальмова сила відповідно по зчепленню і рейкових електромагнітних гальм (ЕМРГ), Н;

$l$  – шлях, м;

$V$  – швидкість руху, м/с;

$A$  – транспортна робота, т·км;

$A_b$  – енергоємність тягової батареї, кВт·год;

$c$  – електрична ємність батареї;

$t$  – час;

$t_x$  и  $t_p$  – час відповідно холостого і робочого ходу;

$I$  – сила струму, А;

$U$  – напруга, В;

$P$  – потужність, кВт.

## 1. ВИХІДНІ ДАНІ І ЗАДАЧІ РОЗРАХУНКУ

*Вихідні дані:* виробнича потужність шахти, категорія шахти по газу та пилу, характеристики вантажів, план і подовжній профіль колії горизонту, змінний вантажопотік дільниць, тип і характеристики вагонів, загальна організація транспорту (одно-, дволанкова, з закріпленням або без закріплення локомотивів за маршрутами і складами).

*Основні задачі розрахунку:* вибір типу локомотива; виконання тягового розрахунку (визначення маси потяга і кількості вагонів у складі, рішення гальмових задач, перевірка маси потяга щодо нагрівання двигунів електровоза); визначення кількості локомотивів та їх продуктивності; розрахунок витрати енергії; вибір основного устаткування зарядної чи тягової підстанції електровозного транспорту; визначення кількості дизелевозів для забезпечення змінної продуктивності дільниці та за екологічними якостями дизеля; пробіг потяга, який може забезпечити запас енергії маховика гірвооза за один цикл зарядки.

Розрахунок виконують окремо для кожного транспортного горизонту і кожної ланки транспорту (збірний, магістральний) за вантажопотоком найбільш навантаженої зміни.

## 2. ВИБІР ТИПУ ЕЛЕКТРОВОЗА

Тип електровоза за способом енергопостачання тягових двигунів (акумуляторні, контактні) вибирають відповідно до вимог ПБ, знаючи категорію шахти по газу та пилу та інших умов роботи.

Для магістральних виробок з великим вантажопотоком приймають електровози масою 14, 28 т, із середнім вантажопотоком – 8...10 т, для виробок вентиляційних горизонтів та для допоміжних операцій – 5, 7, 10 т, керуючись, наприклад, [1, с. 501; 2, с. 50-54] і рис. 1, 2.

## 3. ОБРОБКА ВИХІДНИХ ДАНИХ

Спрощену дійсну схему транспорту (рис. 3, а) замінюють розрахунковою (рис. 3, б, в чи г). При обробці для всіх маршрутів визначають розрахункову довжину транспортування  $l$ , середній  $i_c$  і керівний  $i_p$  ухили.

Для схеми магістрального транспорту (рис. 3, б) за розрахункові довжини приймають  $l_{1-2}$ ,  $l_{1-3}$ ,  $l_{1-10}$ ,  $l_{1-11}$ ; для дільничного транспорту до групової розминовки 2 (рис. 3, в) –  $l_{2-4}$ ,  $l_{2-5}$ ,  $l_{2-6}$ ; для схеми рис. 3, г як розрахункову приймають середньозважену довжину  $l_{св} = l_{1-12}$ .

Наприклад, середній ухил маршруту 1-2 (див. рис. 3, б)

$$i_{c.1-2} = \frac{\sum_1^k il}{\sum_1^k l} = \frac{(H_k - H_n)}{l_{1-2}}, \quad (1)$$

де  $i$  та  $l$  – ухил і довжина відповідного елемента маршруту 1-2 (приводбурний двір – групова розминовка 2);  $\sum_1^k l = l_{1-2}$  – довжина розглядуваного маршруту;  $H_k$  і  $H_n$  – відмітки відповідно кінцевого і початкового пункту транспортування.

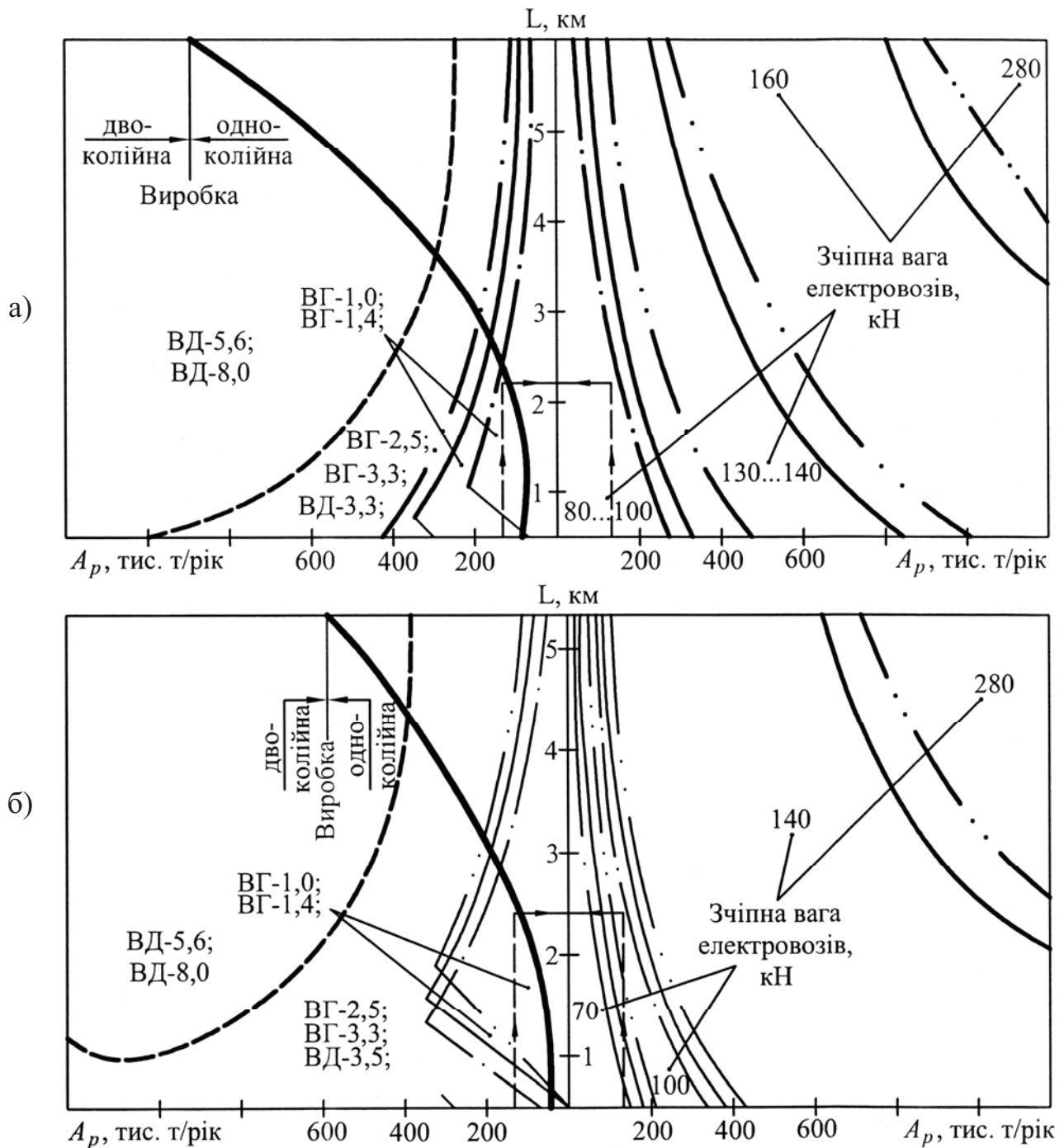


Рис. 1. Области раціонального застосування вагонів, контактних і акумуляторних електровозів різних вагових категорій: а – акумуляторні електровози; б – контактні електровози;  $A_p$  – виробнича потужність шахти;  $l$  – відстань транспортування

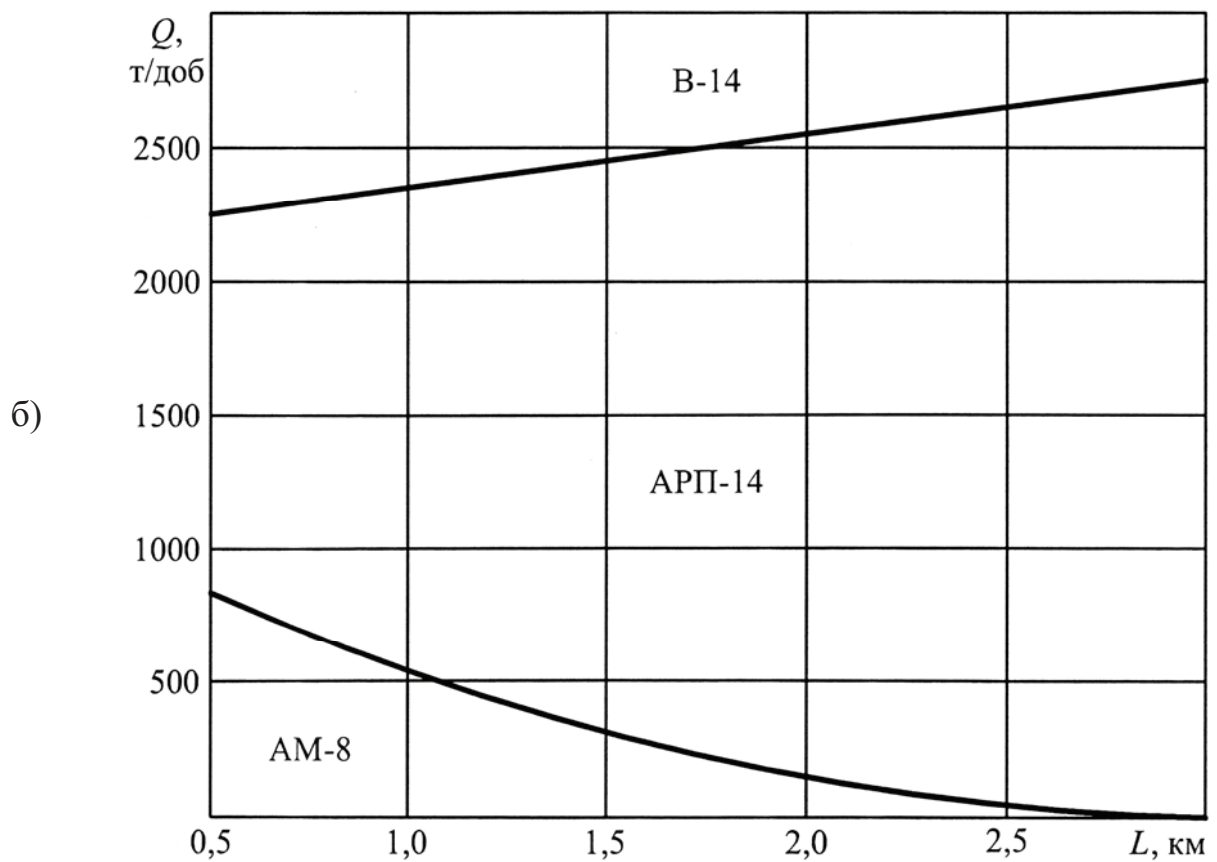
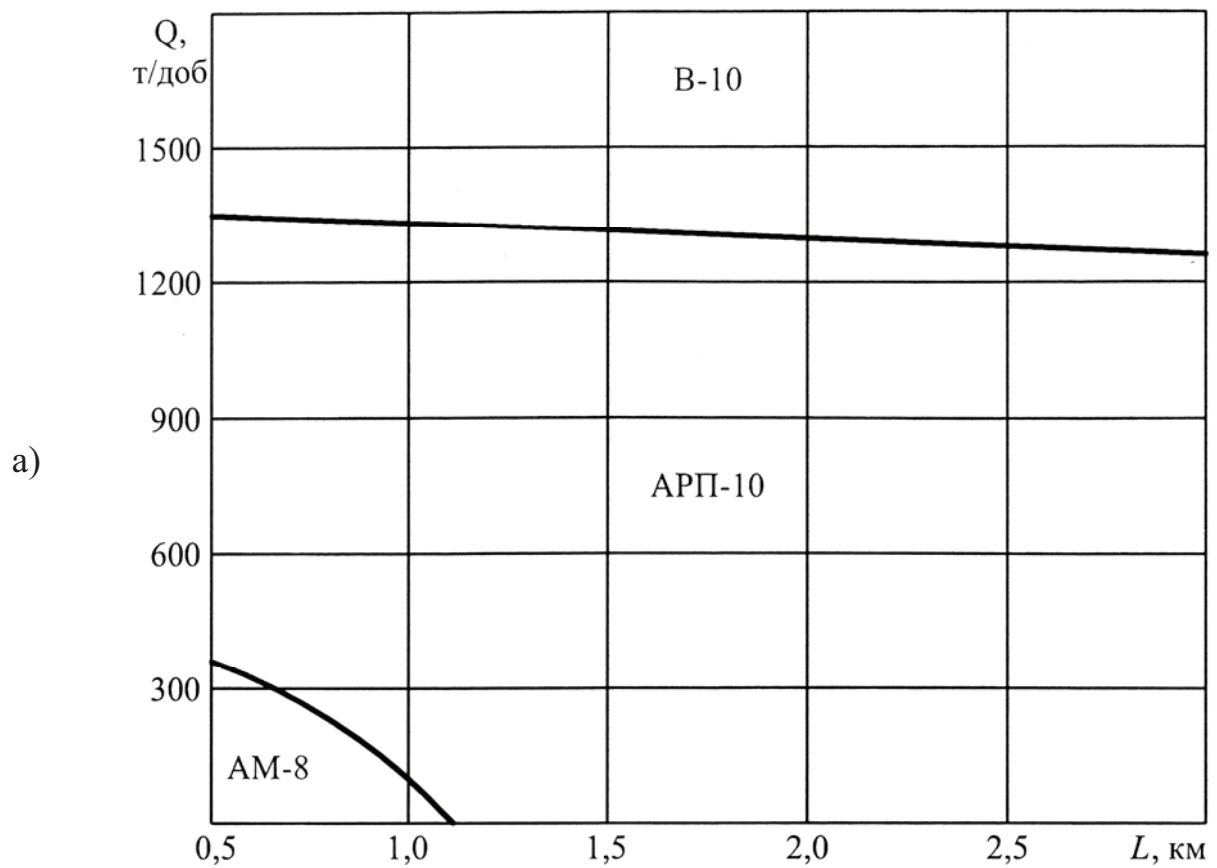


Рис. 2. Области ефективного застосування електровозів у виконанні РП: а – АРП10 (акумуляторний) і В10 (підвищеної частоти); б – АРП14 (акумуляторний) і В14 (підвищеної частоти)

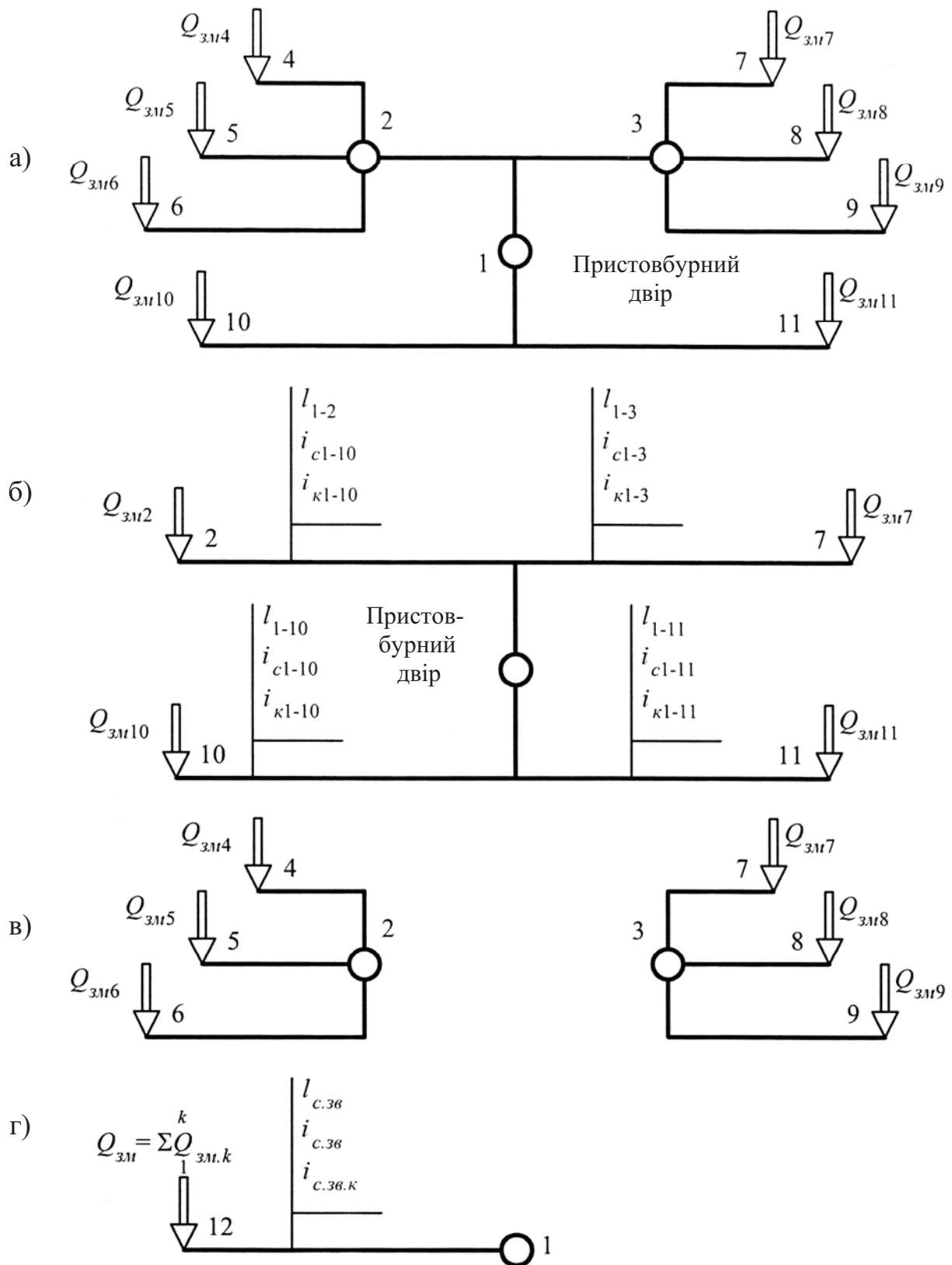


Рис. 3. Спрощені схеми шахтного локомотивного транспорту: а – дійсна; б – розрахункова магістрального транспорту; в – розрахункові ділячкового транспорту (1-ї ланки транспорту); г – середньозважена розрахункова

У тому випадку, коли в (1)  $l$  – однакові довжини елементів шляху, рівні наприклад, відстані між пікетами, а  $k$  – кількість розглянутих елементів шляху, то

$$i_{c.1-2} = \frac{\sum_1^k i}{k}. \quad (2)$$

За керівний ухил маршруту приймають найбільший із затяжних ухилів. До них відносять ухили тих ділянок маршруту, довжина яких достатня для досягнення потягом сталої швидкості руху (50...100 м). Коли на маршруті є ділянка з важким профілем, що істотно відрізняється від нормального, і ділянка з нормальним профілем (ухили до 5‰ зі спуском у вантажному напрямку), маршрут розбивають на дві (чи більше) частини, для кожної з яких знаходять середній і керівний ухили.

Подальший розрахунок можна виконувати, коли колії маршрутів незначно відрізняються від нормального профілю:

1) для “типового маршруту”, у якості якого приймають маршрут, що має найбільший керівний ухил. Дані розрахунку по типовому маршруту використовують далі й для визначення кількості локомотивів та інших показників по інших маршрутах транспортного горизонту;

2) для розрахункового (зведеного) маршруту із середньозваженими параметрами транспортної схеми, який представлений схемою рис. 3, з, отриманої шляхом подальшого спрощення схеми рис. 3, б. У якості параметрів зведеного маршруту рис. 3, з приймають:

– середньозважена відстань транспортування

$$l_{св} = \frac{\sum_1^n Q_{зм} l}{\sum_1^n Q_{зм}}; \quad (3)$$

– середньозважений середній ухил

$$i_{св} = \frac{\sum_1^n Q_{зм} i_c}{\sum_1^n Q_{зм}}; \quad (4)$$

– середньозважений керівний (розрахунковий) ухил

$$i_{св.p} = \frac{\sum_1^n Q_{зм} i_k}{\sum_1^n Q_{зм}}; \quad (4')$$

– розрахунковий вантажопотік, який дорівнює сумарному вантажопотоку всіх навантажувальних пунктів транспортного горизонту

$$Q_{см} = \sum_1^n Q_{зм.n}, \quad (5)$$

де  $l$  – довжина маршруту;  $Q_{зм.n}$  – змінний вантажопотік  $n$ -го навантажувального пункту.

При наявності маршрутів з важким профілем колії розрахунок локомотивного транспорту необхідно виконувати окремо для кожного з таких маршрутів.

До важкого відносять профілі з ухилами від 0,005 до 0,050 (до 50‰), на яких, відповідно до правил безпеки, по шахтних виробках (при дотриманні ряду додаткових вимог) допускається застосування локомотивного транспорту.

Типи важких профілів:

- бремсберговий – має спуск у вантажному напрямку;
- уклонний – має підйом у вантажному напрямку;
- складний – має як спуски, так і підйоми у вантажному напрямку.

## 4. ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ ВАГОНІВ У СОСТАВІ

### 4.1. Загальний порядок розрахунку

Визначають масу потяга, припустиму за зчепленням ходових коліс локомотива з рейками. Перевіряють її щодо гальмування і нагрівання тягових двигунів, для акумуляторних електровозів – додатково за розрядним струмом тягової батареї.

З урахуванням усіх обмежень маси потяга розраховують кількість вагонів у составі. При цьому необхідно також врахувати наявність у порожніх вагонах нерозвантаженого залишку гірської маси і, за необхідності, перевезення в порожняковому напрямку різних вантажів.

Якщо параметри траси маршрутів суттєво відрізняються, кількість вагонів розраховують для кожного маршруту окремо; при виконанні розрахунку для “типового маршруту”, а також за схемою із середньозваженими параметрами, вважають, що кількість вагонів у составі для всіх маршрутів повинна бути однаковою.

### 4.2. Допустима маса потяга за зчепленням

Маса потяга, т:

$$m_n = m_l + m_c,$$

де  $m_l$  та  $m_c$  – маса відповідно локомотива і состава, т.

Для режиму тяги дотична сила тяги локомотива, Н:

$$F_{\partial} = gm_n \left( w_k + \frac{1000\delta}{g} a \right), \quad (6)$$

де  $w_k$  – сумарний статичний питомий опір руху потяга, Н/кН;  $\delta = 1,07$  – коефіцієнт, що враховує інерцію оберткових мас потяга.

Звідси припустима за зчепленням маса потяга, т:

$$m_n = \frac{F_{\partial,з}}{g \left( w_k + \frac{1000\delta}{g} a \right)}, \quad (7)$$

де  $F_{\partial,з}$  – максимальна за зчепленням сила тяги локомотива, Н:



$$F_{\partial.з.} = 1000 g m_{л.з} \psi ; \quad (8)$$

де  $m_{л.з}$  – зчіпна маса локомотива, тобто маса, прикладена до ведучих осей;  $m_{л.з} = m_{л}$ ;  $\psi$  – коефіцієнт зчеплення локомотива.

Загальний питомий опір руху потяга, Н/кН:

$$w_k = w_0 + w_{зр} + w_{кр} \pm i, \quad (9)$$

де  $w_k = i$ , ‰ – додатковий питомий опір руху від ухилу шляху, Н/кН.

На основі виразів (7) – (9), вважаючи, що  $\frac{1000\delta}{g} = 108 \text{ м}^{-1}\text{с}^2$  та  $a = a_0$

( $a_0 = 0,04 \dots 0,05 \text{ м/с}^2$ ), допустима за зчепленням маса потяга при зрушенні, т:

$$m_n = \frac{1000 m_{л} \psi}{(w_0 + w_{зр} + w_{кр} \pm i + 108 a_0)}, \quad (10)$$

а при встановленому русі допустиму масу потяга визначають за формулою (10), вважаючи, що  $a_0 = 0$  і  $w_{зр} = 0$ ; якщо, крім того, рух відбувається на прямій ділянці колії, то допустима маса потяга, т:

$$m_n = \frac{1000 m_{л} \psi}{(w_0 \pm i)}. \quad (11)$$

У формулах (10) і (11) знак “плюс” відноситься до випадку руху на підйом, “мінус” – на спуск.

Значення коефіцієнту зчеплення сталевих коліс шахтних локомотивів із рейками за даними О.О. Ренгевича наведені в табл. 1.

Таблиця 1

### Характеристика колії

Стан поверхні рейок	Розрахунковий коефіцієнт зчеплення коліс $\psi$
Вугільні шахти	
Покриті рідким вугільним і породним брудом	0,07...0,08
Вологі, практично чисті	0,09
Мокры, чисті	0,12...0,13
Сухі, практично чисті	0,17
Посипані піском	0,18...0,24
Покриті піском, роздавленим у результаті попередньої поїздки	0,14...0,18
Сланцеві шахти	
Вологі, брудні	0,11
Залізородні шахти	
Чисті, сухі	0,21...0,25
Покриті рідким залізородним брудом	
без глинистих домішок	0,23
із глинистими домішками	0,10...0,11
Посипані піском	0,25

Значення основного питомого опору руху вагонів  $w_0$  відрізняються для навантажених і порожніх вагонів (табл. 2). Для останніх  $w_0$  більше, оскільки постійні складові опори внаслідок тертя в підшипниках, кочення коліс, опору повітря, ударів і коливань та іншого відносяться до меншої маси порожнього вагона, хоча абсолютний опір навантаженого вагона більше, ніж порожнього.

## Основний питомий опір руху ходової частини шахтних вагонів

Вугільні вагони			Рудні вагони		
Місткість, м <sup>3</sup>	Основний питомий опір, Н/кН		Вантажопідйомність, т	Основний питомий опір, Н/кН	
	навантажені	порожні		навантажені	порожні
1,1	10	12	4,15	7	10,5
2,5	9	11	5,5	6	10,5
3,3	7	9	7,2	5,5	8
5,6	6	7	10,0	5	8
Більше 5,6	8	10	14...20	4	6

Для шахтного рухомого складу при відсутності дослідних чи нормативних даних значення  $w_0$  можна розрахувати за емпіричною залежністю, запропонованою в [3, с. 110], Н/кН:

для навантажених вагонів

$$w_{o,n} = 10,5m^{-\frac{1}{3}}; \quad (12)$$

для порожніх вагонів

$$w_{o,n} = 10,2m_0^{-\frac{1}{3}}. \quad (13)$$

За даними випробувань ДГІ, основний питомий опір руху шахтних вагонів має лінійну залежність від швидкості:

$$w_0 = A + BV, \quad (14)$$

де  $A$  та  $B$  дослідні коефіцієнти;  $V$  – взято з [4, с. 236].

У табл. 2 значення  $w_0$  вугільних вагонів дані для середньої швидкості руху 2,5 м/с.

Додатковий питомий опір руху при зрушенні для вугільних шахт можна прийняти рівним нулю, а для рудних, з огляду на необхідність перестановки вагонів на засмічених коліях у навантажувальних люків, приймають  $w_{зр} = (0,5...1,0)w_0$ . Якщо передбачається зрушення потяга на кривій, то враховують додатковий питомий опір руху від кривої, Н/кН:

$$w_{кр} = \frac{A_1}{R}, \quad (15)$$

де  $A_1$  – дослідний коефіцієнт;  $R$  – радіус кривої, м.

Для вугільних вагонів, за даними досліджень І.Е. Білана,

$$A_1 = 240S_0\alpha\xi, \quad (16)$$

де  $S_0$  – жорстка база вагона, м;  $\alpha$  – коефіцієнт, що враховує завантаження вагонів (для навантажених вагонів  $\alpha = 1$ , для порожніх  $\alpha = 0,85$ );  $\xi$  – коефіцієнт, що враховує вплив стану поверхні рейок (для сухих рейок  $\xi = 1$ , для мокрих  $\xi = 0,45$ ).

Для рудних вагонів нормативні значення  $w_{кр}$  на кривих залежать від радіуса кривої:

Радіус кривої, м	8	12	15	20	25	30
$w_{кр}$ , Н/кН	11	10	9	8	7	6

Якщо крива має довжину  $l_{кр}$  меншу, чим довжина потяга  $l_n$ , то в формулу (10) підставляють скореговане значення додаткового питомого опору руху від кривої, Н/кН:

$$w'_{кр} = \frac{w_{кр} l_{кр}}{l_n}. \quad (17)$$

Рекомендується приймати розрахункове прискорення шахтного потяга при зрушенні  $a_0 = 0,04 \dots 0,05 \text{ м/с}^2$ , а розрахунковий коефіцієнт зчеплення – за табл. 1.

Підсипання піску при визначенні допустимої за зчепленням маси потяга не передбачають, приймаючи відповідне значення коефіцієнта зчеплення. Підсипання піску – резерв, який використовують з метою збільшення зчеплення локомотивних колісних пар з рейками при виконанні маневрів з навантаженим составом, проходженні забруднених ділянок і елементів колії великої крутості, а також при зрушенні потяга на керівному підйомі. Тривале користування пісочницями, до того ж, неможливе через обмежену місткість їхніх бункерів і незадовільної роботи в умовах підвищеної вологості.

Ходові якості та показники призначення сучасного рухомого складу шахт наведені в табл. 2.

Допустиму масу потяга за зчепленням визначають для найбільш важких режимів транспортування:

– для рудних шахт зрушення навантаженого потяга на середньому підйомі на засмічених коліях біля навантажувальних люків – розраховують за формулою (10);

– для вугільних шахт при нормальному профілі колії обмежувальним може виявитися один з наступних режимів:

1) зрушення порожнього потяга на середньому (середньозваженому) підйомі – за формулою (10);

2) встановлений рух порожнього потяга на керівному підйомі – за формулою (11);

3) зрушення навантаженого потяга на горизонтальній ( $i = 0$ ) ділянці колії навантажувального пункту – за формулою (10).

З отриманих значень маси потяга до подальшого розрахунку приймають ту, при якій кількість вагонів в составі виявиться меншою, маючи на увазі, що на шахтному локомотивному транспорті кількість вагонів для обох напрямків приймають однаковою.

Для важких профілів колії з ухилами до 0,05, що характеризуються середнім  $i_c$  і керівним  $i_k$  ухилами, які мають значне поширення на вугільних шахтах, при вантажних перевезеннях обмеження маси потяга за зчепленням може відзначатися для наступних розрахункових режимів:

– при наявності підйомів тільки в порожньому напрямку – зрушення порожнього потяга на середньому підйомі, встановлений рух порожнього потяга на керівному ухилі;

– при наявності підйомів тільки у вантажному напрямку – зрушення навантаженого поїзда на середньому підйомі, встановлений рух навантаженого поїзда на керівному ухилі;

– при наявності підйомів, як у порожняковому так і у вантажному напрямках (складний профіль), розрахункові режими встановлюють на підставі аналізу конкретного профілю.

При пасажирських перевезеннях допустиму за зчепленням масу потяга визначають для найбільш важкого випадку – зрушення навантаженого поїзда на керівному підйомі.

Гранична кількість порожніх вагонів у составі:

$$Z_n = \frac{(m_{n.n} - m_l)}{m_0 + C_M m}, \quad (18)$$

де  $C_M$  – коефіцієнт, що враховує перевезення в составі матеріалів і нерозвантаженого залишку гірничої маси,  $C_M = 0,10 \dots 0,15$ .

Гранична кількість навантажених вагонів у составі:

$$Z_e = \frac{(m_{n.e} - m_l)}{m_0 + m}. \quad (19)$$

З двох значень  $Z_n$  та  $Z_e$  до подальшого розрахунку приймають менше, котре округляють до цілого меншого значення  $Z$ , а якщо розвантаження в перекидачі здійснюється по два вагона одночасно, то до цілого парного числа, і визначають масу порожнього і навантаженого поїздів, т:

$$m_{n.n} = Z_n (m_0 + C_M m) + m_l; \quad (20)$$

$$m_{n.e} = Z_e (m_0 + m) + m_l. \quad (21)$$

У тому випадку, коли корисні копалини і породи перевозять у змішаних составах, в формулах (18) – (21) замість вантажопідйомності  $m$  треба вводити зведену вантажопідйомність, т:

$$m_{np} = \frac{m}{1 - \frac{Q_{zm.n}}{Q_{zm}} \left(1 - \frac{m}{m_{nop}}\right)}, \quad (22)$$

де  $Q_{zm}$  та  $Q_{zm.n}$  – змінний вантажопотік навантажувального пункту відповідно по корисних копалинах і породі;  $m$  та  $m_{nop}$  – маса відповідно корисних копалин і породи в одному вагоні, т.

Формула (22) припускає, що відношення маси породи в составі до маси корисних копалин у ньому дорівнює відношенню змінних вантажопотоків породи і корисних копалин.

### 4.3. Перевірка маси потяга за гальмуванням

Перевірку виконують для найбільш важкого режиму – екстреної зупинки навантаженого потяга на спуску, крутість якого дорівнює керівному ухилу  $i_p$ , при дотриманні умови, що повний гальмовий шлях потяга дорівнює сумі дійсного  $l_0$  та підготовчого  $l_n$  гальмового шляху і не перевищує шляху, нормованого правилами безпеки  $l_T^H$  (40 м – для вантажних потягів, 20 м – для пасажирських). Припустима за гальмуванням маса навантаженого потяга, т:

$$m_{n.e} = \frac{B_k}{g \left( \frac{54V_n^2}{l_T^H - V_n t_n} + i_p - w_{o.n} \right)}, \quad (23)$$

де  $w_{o.n}$  – основний питомий опір руху навантаженого потяга, Н/кН;  $B_k$  – сумарна гальмова сила, реалізована локомотивом (потягом) при екстремому гальмуванні, Н;  $V_n$  – швидкість потяга в початковий момент гальмування, м/с;  $t_n$  – час підготовки гальм до дії, с.

При обладнанні локомотива гальмами, що діють на принципі сили зчеплення (колодкові гальма, гальмування двигунами), і ЕМРТ сумарна гальмова сила, яку вважають постійною, Н:

$$B_d = B_z + B_m = 1000gm_{л\psi} + \varphi_m \sum K_m, \quad (24)$$

де  $\varphi_m = 0,15 \dots 0,20$  – коефіцієнт тертя полозів рейкових гальм об рейки;  $\sum K_m$  – загальна сила притягання (за рахунок намагнічування) рейкових гальм до рейок, Н;

$$\sum K_m = n_2 K_{m.num} l_{P.G}, \quad (25)$$

де  $n_2$  – кількість рейкових гальм;  $K_{m.num} = (60 \dots 70)10^3$  Н/м – питома (на 1 м довжини гальма) електромагнітна сила притягання рейкового гальма до рейки);  $l_{P.G}$  – довжина одного рейкового гальма по зоні контакту його з рейкою, м.

Час підготовки гальм до дії, с:

$$t_n = 1,4 + t_x, \quad (26)$$

де  $t_x$  – час холостого ходу приводу гальмової системи, що залежить від типу гальма (можна прийняти  $t_x = 3$  с).

Колодкове гальмо з ручним приводом:	с
однозахідний гвинт.....	3,5
двозахідний гвинт.....	1,0...1,5
Колодкове гальмо з пневмоприводом.....	2,0
Електродинамічне гальмування.....	1,2...1,7
Електромагнітне рейкове гальмо:	
с низькою підвіскою рейкових гальм.....	0,3...0,5
с високою підвіскою рейкових гальм.....	0,8...1,0

Швидкість потяга в початковий момент гальмування  $V_n$  при русі локомотива в момент, попередній початку гальмування в тяговому режимі, приймають за електромеханічною характеристикою локомотива; при русі локомотива у встановленому режимі гальмування на самокатному ухилі (спуску) – відповідно до обмежень швидкості, передбачених інструкціями з експлуатації, але не менш 3 м/с.

Перевірка прийнятності за умов гальмування маси потяга, що розраховується за зчепленням, може бути також зведена до визначення допустимої швидкості руху  $V_{дон}$  навантаженого поїзда на спуску  $i_p$  у режимі екстремого гальмування, при якому витримується нормований правилами безпеки гальмовий шлях.

Допустима швидкість руху, м/с:

$$V_{дон} = \sqrt{2a_T l_T^H + (a_T t_n)^2} - a_T t_n, \quad (27)$$

де  $a_T$  – уповільнення потяга, м/с<sup>2</sup>:

$$a_T = \frac{1}{108} (b_k + w_k) = 0,01 \left( \frac{B_k}{gm_{n.g}} + w_{o.n} - i_p \right); \quad (28)$$

$$b_k = \frac{B_k}{gm_{n.6}},$$

де  $b_k$  – питома гальмова сила потяга, Н/кН.

Якщо виявиться, що  $V_{дон}$  менше фактичної швидкості руху  $V$ , потрібно або зменшити швидкість руху до допустимої або зменшити кількість вагонів і повторити розрахунок.

Швидкість руху зменшують шляхом переходу з паралельного з'єднання двигунів на послідовне та періодичним відключенням двигунів. При спуску по самокатному ухилу сила тяги негативна. При електродинамічному гальмуванні струм і швидкість руху знаходять за електромеханічними характеристиками, а при спуску на механічних гальмах швидкість руху невизначена, тому її приймають рівною  $V_{дон}$ .

#### 4.4. Перевірка маси потяга за нагріванням тягових двигунів електровоза

Перевірка вважається прийнятною, якщо дотримуються умови:

$$I_{mp} \geq I_e, \quad (29)$$

де  $I_{mp}$  – тривалий струм двигуна, що приймають за характеристикою електровоза;  $I_e$  – еквівалентний струм двигуна за рейс, А:

$$I_e = \gamma \sqrt{\frac{\sum(I^2 t)}{T}}, \quad (30)$$

де  $\gamma$  – коефіцієнт, що враховує додаткове нагрівання двигунів при виконанні електровозом кінцевих операцій (згідно з дослідними даними для вугільних шахт  $\gamma = 1,4$  при відстані транспортування до 1 км,  $\gamma = 1,25$  при відстані 1...2 км,  $\gamma = 1,15$  при відстані більше 2 км, для рудних шахт  $\gamma = 1,4...1,5$ );  $I$  – струм двигуна, А;  $t$  і  $T$  – тривалість відповідно руху при струмі  $I_{mp}$  і рейса, хв.

Силу струму визначають відповідно до електромеханічних характеристик за значеннями сили тяги, розрахованою для середнього (середньозваженого) ухилу маршруту; якщо маршрут розбитий на кілька ділянок – за силою тяги, що відповідає середньому ухилу кожної ділянки маршруту. За наявності самокатних спусків, на яких застосовують електродинамічне гальмування, враховують струм цього режиму роботи двигунів.

Дотична сила тяги, реалізована одним двигуном на даній ділянці маршруту, Н:

– для порожнякового напрямку

$$F_{xi} = gm_{n.n} \frac{w_{o.n} + i_{ci}}{n_{\Delta 6}}; \quad (31)$$

– для вантажного напрямку

$$F_{pi} = gm_{n.6} \frac{w_{o.n} - i_{ci}}{n_{\Delta 6}}, \quad (32)$$

де  $n_{\Delta 6}$  – кількість тягових двигунів електровоза.

Час руху потяга по ділянці маршруту довжиною  $l_i$  (хв) зі швидкістю  $V_i$  ( $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$ ) визначають, користуючись наближеним методом “сталих швидкостей”, хв:

$$t_i = \frac{l_i}{60K_{ш}V_i}, \quad (33)$$

де  $K_{ш} = 0,75...0,9$  – коефіцієнт швидкості, що враховує періоди пуску і гальмування.

Тривалість рейсу, хв:

$$T_p = \frac{\sum l_i}{60K_{ш}V_{xi}} + \frac{\sum l_i}{60K_{ш}V_{pi}} + \Theta, \quad (34)$$

де  $l_i$  – довжина  $i$ -го елемента маршруту, м;  $\Theta_{ц}$  – тривалість пауз за цикл (для вугільних шахт приймають  $\Theta_{ц} = 30...40$  хв, для рудних – за табл. 3).  $V_{xi}$  та  $V_{pi}$  – швидкість руху потяга на цьому елементі відповідно при холостому і робочому ході, м/с.

Таблиця 3

Час завантаження і розвантаження одного вагона (Гіпроруда)

Місткість вагона, $\text{м}^3$	Час завантаження, хв	Час розвантаження в перекидачі, хв	
		на один вагон	на два вагони
2,2	1,5	0,58	0,38
4,0	2,0	0,67	0,42
8,0	3,0	0,83	-

Якщо маршрут складається з однієї ділянки довжиною  $l_x = l_p = l_i$  з постійним ухилом  $i_c$ , на якому дотримується встановлена швидкість руху електровоза  $V_x$  при холостому (з порожняком) і  $V_p$  при робочому (з вантажем) ході, то тривалість рейса, хв:

$$T_p = \frac{l_x}{60K_{ш}V_x} + \frac{l_p}{60K_{ш}V_p} + \Theta_{ц}. \quad (34')$$

Якщо перевірка за формулою (29) незадовільна, потрібно зменшити кількість вагонів і повторити розрахунок.

У числових розрахунках доцільніше визначати кількість вагонів у составі за потужністю тягового приводу (розділ 4.4), а потім за гальмуванням (розділ 4.3), що дає можливість для прийнятої маси потяга задати швидкість його руху.

#### 4.5. Перевірка маси потяга за розрядним струмом тягової батареї

Максимально допустимий розрядний струм тягової батареї акумуляторів, А:

$$I_{\text{max. бат}} = \frac{C_n K_b K_{\text{реж}}}{t_p^H}, \quad (35)$$

де  $C_n$  – номінальна електрична ємність тягової батареї, А·г;  $K_b = 0,8...1,1$  – коефіцієнт, що характеризує фактичний стан тягової батареї (відношення фактичної ємності до номінальної);  $K_{\text{реж}} = 1,5$  – коефіцієнт граничного режиму розряду;  $t_p^H$  – час номінального розрядного режиму, год.

Величина  $K_{реж}$  не має нормованих значень. Дане значення рекомендується приймати, керуючись тим, що розряд батареї струмами, які значно перевищують номінальне значення, призводить до зниження ємності батареї, розрядної напруги і терміну служби.

Для тягових батарей акумуляторів шахтних електровозів номінальними є три- або п'ятигодинні розрядні режими, що відповідають прийняттю різних конструктивних параметрів акумуляторів під час їхнього проектування.

Максимальна за тяговою батареєю сила струму тягового двигуна:

– при послідовному з'єднанні двигунів електровоза

$$I_{\max.дв} = I_{\max.бат}; \quad (36)$$

– при паралельному

$$I_{\max.дв} = \frac{I_{\max.бат}}{n_{дв}}. \quad (37)$$

З рівняння руху потяга (6) визначають масу потяга, допустиму за розрядним струмом батареї при сталому його русі на середньому підйомі крутістю  $i_c$ , т:

$$m_n = n_{дв} \frac{F'_{д.бат}}{g(w_0 + i_c)}, \quad (38)$$

де  $F'_{д.бат}$  – дотична сила тяги електровоза, допустима за розрядним струмом батареї.

Дотична сила тяги електровоза  $F'_{д.бат}$  відноситься до одного тягового двигуна, яку визначають відповідно до електромеханічних характеристик двигуна даного типу електровоза за відомим значенням  $I_{\max.бат}$  з формули (35) та сили струму двигуна  $I_{\max.дв}$  відповідно до виразу (36) або (37), прийнявши до уваги відповідне групування двигунів при русі потяга по розрахунковому елементу маршруту. Наприклад, для виробок з нормальним профілем, на яких масу потяга обмежує порожняковий напір, припустима за тяговою батареєю маса порожнього потяга, т :

$$m_{n.n.} = \frac{n_{дв} F'_{д.бат}}{g(w_{o.n} + i_c)}. \quad (38')$$

#### 4.6. Результати розрахунків маси потяга

На підставі аналізу отриманих розрахункових даних установлюють допустиму кількість вагонів у складі з урахуванням усіх обмежувальних факторів. За необхідності розрахунки повторюють.

### 5. ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ ЕЛЕКТРОВОЗІВ ТА ЇХ ПРОДУКТИВНОСТІ

Електровозний парк, що обслуговує транспортний горизонт (шахту), складається з рейсових, допоміжних (для маневрової служби і допоміжних транспортних операцій), резервних машин і машин, що знаходяться в ремонті.



При дволанковій транспортній схемі (перша ланка – збиральна служба, друга ланка – магістральний локомотивний транспорт) окремо враховують електровози першої ланки.

Кількість рейсових електровозів визначають для кожного маршруту окремо, а при використанні спрощеної розрахункової схеми за рис. 3, з із середньозваженими показниками знаходять відразу загальну кількість рейсових електровозів з наступним розподілом їх по маршрутах. Кількість допоміжних і резервних машин установлюють для транспортного горизонту в цілому в залежності від загальної кількості рейсових машин і умов їхнього використання.

Можлива за балансом часу кількість рейсів одного електровоза в зміну:

$$r_e = \frac{60t_{zm} K_e}{T}, \quad (39)$$

де  $t_{zm}$  – тривалість зміни, г;  $K_e$  – коефіцієнт використання змінного часу (для акумуляторних електровозів  $K_e = 0,7$ , для контактних  $K_e = 0,8$ );  $T$  – розраховують за формулами (34) та (34').

Загальна кількість рейсів для забезпечення вантажних (з корисними копалинами –  $r$  та породою –  $r_n$ ) та пасажирських ( $r_{nac}$ ) перевезень, наприклад першого маршруту при транспорті у відокремлених складах:

$$r_{01} = r_1 + r_{n1} + r_{nac1} = \frac{KQ_{zm1}}{Zm} + \frac{K_n Q_{zm,n1}}{Z_n m_n} + r_{nac1}, \quad (40)$$

а в змішаних вантажних  $r_{z,m}$  і відокремлених пасажирських складах:

$$r_{01} = r_{z,m1} + r_{nac1} = K \left( \frac{Q_{zm1} + Q_{zm,n1}}{Zm_{np}} \right) + r_{nac1}, \quad (41)$$

де  $K$  та  $K_n$  – коефіцієнт нерівномірності вантажопотоків відповідно корисних копалин і породи (для вугільних шахт за відсутності акумуляюючих ємностей – 1,5, за їх наявності – 1,25 для проміжних горизонтів рудних шахт – 1,35);  $Z$  та  $Z_n$  – кількість вагонів відповідно з корисними копалинами і з породою;  $m_{np}$  – визначається за формулою (22);  $Q_{zm}$ ,  $Q_{zm,n}$  – змінні вантажопотоки корисних копалин і породи відповідно.

Кількість пасажирських рейсів встановлюють з урахуванням пасажиропотоків та конкретної схеми транспорту, приймаючи по одному складу на кожен відокремлений маршрут.

Кількість рейсових електровозів для першого маршруту

$$n_{л.рейс1} = \frac{r_{01}}{r_{e1}}. \quad (42)$$

Далі виконують аналогічні розрахунки для інших маршрутів або ж при ідентичних умовах транспортування за цими маршрутами визначають розрахункову змінну продуктивність рейсового електровоза, обслуговуючого маршрут, для якого виконано розрахунок, виражений в одиницях транспортної роботи ( $t \cdot \text{км}$ ), а потім розраховують кількість рейсових машин для інших маршрутів, вважаючи, що їх продуктивність буде такою ж.

Змінна продуктивність за гірничою масою одного рейсового електровоза, що обслуговує маршрут довжиною  $l_1$ , т км:

$$A_1 = \frac{K(Q_{zm1} + Q_{zm.n1})l_1}{n_{л.рейс1}}. \quad (43)$$

Кількість електровозів  $i$ -го маршруту довжиною  $l_i$ :

$$n_{л.рейси} = \frac{K(Q_{zmi} + Q_{zm.ni})l_i}{A_1}. \quad (44)$$

При закріпленні електровозів за навантажувальними пунктами загальна кількість рейсових машин

$$n_{л.рейс} = (n_{л.рейс1}) + (n_{л.рейс2}) + \dots + (n_{л.рейси}). \quad (45)$$

У формулі (45) кожен доданок суми округляють до цілого числа. При транспортуванні без закріплення електровозів за навантажувальними пунктами, тобто, коли за командою диспетчера електровоз може бути спрямований на будь-який навантажувальний пункт, загальну кількість рейсових машин

$$n_{л.рейс} = n_{л.рейс1} + n_{л.рейс2} + \dots + n_{л.рейси}. \quad (46)$$

У формулі (46) суму доданків округляють до цілого числа. Відмінність у розрахункових формулах (45) та (46) може бути істотною, більше число буде при розрахунку за виразом (45), тобто при закріпленні електровозів за навантажувальними пунктами.

Якщо до розрахунку приймалася схема рис. 3, з, то за формулою (40) чи (41) відразу знаходять загальну кількість рейсових електровозів, а за формулою (43) – їх змінну продуктивність за сумарним змінним вантажопотоком корисних копалин і породи, причому замість довжини маршруту у виразі (43) підставляють середньозважену відстань транспортування. Потім за дійсними вантажопотоками навантажувальних пунктів визначають кількість рейсових машин, необхідних для їх обслуговування, а за формулою (45) чи (46) зв'язують їх загальну кількість.

Інвентарна кількість робочих (рейсових і допоміжних) електровозів

$$n_{л.рейс} = K_{инв}(n_{л.рейс} + n_{л.дон}) = K_{инв}n_{л.роб} \quad (47)$$

де  $K_{инв} = 1,15 \dots 1,20$  – коефіцієнт інвентарності, що враховує резерв справних машин і машин, які знаходяться в ремонті (можна користатися так само нормативами: для вугільних шахт на шість робочих електровозів – один резервний; для рудних – на п'ять електровозів – один резервний, якщо по стовбуру у кліті можливий спуск і підйом електровоза; при будь-якій продуктивності для кожного горизонту повинний бути резервний електровоз; при різнотипному парку резерв приймають окремо для кожного типу електровоза).

## 6. РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ БАТАРЕЙ І ЗАРЯДНИХ СТОЛІВ

### 6.1. Кількість тягових батарей і зарядних столів

Енергоємність тягової батареї акумуляторного електровоза, як правило, повинна бути достатньою для забезпечення рейсової роботи електровоза за робочу зміну. Оскільки тривалість заряду батареї близька до тривалості робочої зміни, а рейсовий електровоз повинний знаходитися в роботі на всіх добувних змінах, на кожен робочий електровоз треба мати не менше двох батарей, тобто мінімальна кількість робочих батарей:

$$n_{\text{бат.роб}} = 2n_{\text{л.роб}}, \quad (48)$$

та інвентарних батарей

$$n_{\text{бат.инв}} = K_{\text{инв}} n_{\text{бат.роб}}, \quad (49)$$

де  $K_{\text{инв}} = 1,1$ .

Кількість батарей, що одночасно заряджаються, дорівнює кількості робочих електровозів  $n_{\text{л.роб}}$ , а кількість зарядних столів, відповідно до нормативів для вугільних шахт, при  $n_{\text{л.инв}} < 10$ :

$$n_{\text{ст}} = n_{\text{л.инв}} + 2, \quad (50)$$

при  $n_{\text{л.инв}} > 10$ :

$$n_{\text{ст}} = n_{\text{л.инв}} + 4.$$

Перевищення кількості зарядних столів над кількістю батарей, що одночасно заряджаються, необхідне для забезпечення ремонту батарей і проведення інших робіт, пов'язаних з їхньою експлуатацією.

## 6.2. Перевірка можливості роботи тягової батареї протягом робочої зміни без її заміни

Можлива за енергоємністю кількість рейсів електровоза протягом робочої зміни дорівнює відношенню розрядної енергоємності тягової батареї до енергії, що витрачається електровозом за один повний рейс (цикл).

Витрати електричної енергії за цикл, віднесені до ведучих колісних пар електровоза, визначають по механічній роботі, зробленої поїздом для випадку, коли маршрут представлений однією ділянкою, рівною відстані транспортування, кВт·год:

$$a_{\text{ц.к.}} = 0,278 \cdot 10^{-6} (F_{\text{Х.СТ}} + F_{\text{Р.СТ}}) (l_p + l_m), \quad (51)$$

де  $0,278 \cdot 10^{-6}$  – перевідний коефіцієнт механічної роботи, Н·м (Дж), в електричну, кВт·год;  $F_{\text{Х.СТ}}$ ,  $F_{\text{Р.СТ}}$  – сталі значення сили тяги електровоза відповідно при холостому (з порожняком) і робочому (з вантажем) ході, Н;  $l_p = l_x$  – довжина маршруту в одному напрямку, м;  $l_m$  – зведена відстань маневрування електровоза на кінцевих пунктах транспортування, м.

Уведенням  $l_m$  маршрут умовно подовжується на відрізок шляху, на якому витрата енергії електровоза буде такою ж, як при виконанні маневрових операцій на кінцевих пунктах. За дослідними даними ДГІ для вугільних шахт  $l_m = 400 \dots 500$  м для рудних –  $600 \dots 800$  м.

Енергоємність тягової батареї, кВт·год:

$$A_{\text{б}} = 10^{-3} K_{\text{б}} C_{\text{н}} U_{\text{б.р}}, \quad (52)$$

де  $K_{\text{б}}$  – коефіцієнт, що характеризує фактичний стан тягової батареї,  $K_{\text{б}} = 0,8 \dots 1,1$ ;  $U_{\text{б.р}}$  – середня розрядна напруга (добуток кількості елементів у батареї на середню розрядну напругу елемента для лужних акумуляторів 1,15, для кислотних 2,0 В).

Можлива за енергоємністю батареї кількість циклів електровоза без її заміни:

$$r_{в.эН} = \frac{A_0 \eta_l}{a_{ц.к}}, \quad (53)$$

де  $\eta_l$  – ККД електровоза, що враховує усі види витрат від ведучих колісних пар до штепсельного гнізда тягової батареї (за дослідними даним ДГІ при відсутності інтенсивного буксування колісних пар  $\eta_l = 0.5...0,6$ ).

Якщо виконується умова

$$r_{в.эН} \geq r_6, \quad (54)$$

то заміна батареї у середині робочої зміни не потрібна ( $r_{в.эН}$  визначають за формулою (53),  $r_6$  – за формулою (39)).

## 7. ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ ЕЛЕКТРОВОЗНОГО ТРАНСПОРТУ

### 7.1. Продуктивність електровоза

Дійсна змінна продуктивність рейсового електровоза при вивозі планового вантажопотоку, т · км:

$$A_{з.м.рейс} = \frac{\sum_i (Q_{з.м.i} + Q_{з.м.пi}) l_i}{n_{л.рейс}}; \quad (55)$$

розрахункова місячна продуктивність рейсового електровоза, т · км:

$$A_{міс.рейс} = A_{з.м.рейс} n_{д.з} n_{р.д}, \quad (56)$$

де  $n_{д.з.}$  та  $n_{р.д.}$  – кількість відповідно добових змін і робочих днів на місяць.

Отримане значення місячної продуктивності порівнюють з досягнутим рівнем продуктивності шахтних електровозів та при незадовільних результатах порівняння вишуковують шляхи підвищення технічних показників.

### 7.2. Витрата енергії на електровозний транспорт

Витрату енергії за рейс, віднесену до ведучих колісних пар електровоза, визначають за формулою (51) для типового маршруту або за схемою (рис 3, з) для середньозваженої відстані транспортування.

Витрата енергії за рейс на шинах змінного струму перетворювальної установки при транспортуванні контактними електровозами, кВт·год:

$$a_{ц.н} = \frac{a_{ц.к}}{\eta_l \eta_m \eta_n}, \quad (57)$$

де  $\eta_m$  – ККД тягової мережі  $\eta_m = 0,9...0,95$ ;  $\eta_n$  – ККД перетворювального агрегату (напівпровідникового  $\eta_n = 0,9...0,95$ ; ртутного  $\eta_n = 0,86...0,92$ ; двигуна-генератора  $\eta_n = 0,75...0,8$ ); при транспортуванні акумуляторними електровозами, кВт·год:

$$a_{ц.н} = \frac{a_{ц.к}}{\eta_l \eta_{ен} \eta_{з.н}}, \quad (58)$$

де  $\eta_{ен}$  – енергетичний ККД тягової батареї,  $\eta_{ен} = 0,47$ ;  $\eta_{з.н}$  – ККД зарядного пристрою (для напівпровідникових зарядних пристроїв  $\eta_{з.н} = 0,85...0,92$ ).

Питома витрата енергії на шинах змінного струму перетворювальної установки віднесена до 1 т·км вантажу (нетто), що транспортується, кВт·год/т·км:

$$a_{n.num} = \frac{a_{y.n}}{Zm_{np} l_1} \quad (59)$$

Загальна змінна витрата енергії на транспортування, кВт · год:

$$A_{зм.ен} = a_{n.num} \sum (Q_{зм.i} + Q_{зм.ні}) l_i, \quad (60)$$

де  $\sum (Q_{зм.i} + Q_{зм.ні})$  – сумарна транспортна робота (нетто) по всіх маршрутах горизонту, т · км.

## 8. ВИБІР ОСНОВНОГО УСТАТКУВАННЯ ЗАРЯДНОЇ ТА ТЯГОВОЇ ПІДСТАНЦІЙ

### 8.1. Вибір устаткування зарядної підстанції

При індивідуальному способі заряду кількість робочих зарядних пристроїв

$$n_{з.н} = n_{л.інв}, \quad (61)$$

інвентарних

$$n_{з.н.інв} = 1,1 n_{л.інв}. \quad (61')$$

Кількість резервних зарядних пристроїв приймають не менш одного при  $n_{з.н} \leq 10$  і не менш двох при  $n_{з.н} > 10$ . При груповому засобі заряду батарей кількість резервних агрегатів приймають  $n_{з.н.рез} = 1$  (рідше 2), а їх загальна кількість

$$n_{з.н.інв} = \frac{n_{л.інв}}{n_{бат.гр}} + n_{з.н.рез}, \quad (62)$$

де  $n_{бат.гр}$  – кількість батарей, які заряджаються одночасно від одного перетворювача.

Сумарна потужність трансформаторів зарядно-перетворювальної підстанції, кВт·А:

$$P_{ТР} = \frac{K_c n_{з.н} P_{з.н}}{\eta_{з.н}}, \quad (63)$$

де  $K_c$  – коефіцієнт попиту,  $K_c = 0,9 \dots 1,1$ ;  $P_{з.н}$  – номінальна потужність зарядного пристрою, кВт·А;  $\eta_{з.н}$  – середній коефіцієнт потужності зарядного пристрою.

### 8.2. Вибір устаткування тягової підстанції.

Кількість робочих перетворювальних агрегатів тягової підстанції

$$n_{np} = \frac{I_{ef}}{I_{в.с}}, \quad (64)$$

де  $I_{ef}$  – ефективний струм тягової підстанції, А;  $I_{в.с}$  – номінальний випрямний струм перетворювального агрегату, А.

Ефективний струм тягової підстанції, А:

$$I_{ef} = \frac{n_{л.рейс}}{\alpha_0} I_{л.тр} \sqrt{\alpha \rho + \frac{(1 + \alpha \rho)}{n_{л.рейс}}}, \quad (65)$$

де  $n_{л.рейс}$  – кількість рейсових електровозів;  $\alpha_0 = 1,15$  – коефіцієнт, враховуючий погіршення охолодження двигунів під час зупинок;  $I_{л.тпр}$  – тривалий струм електровоза, А;  $\alpha = 1,1 \dots 1,15$  – коефіцієнт, що враховує споживання струму під час маневрів;  $\rho$  – відносна тривалість споживання електровозом струму за час руху,  $\rho = \frac{T_T}{T}$ ;  $T_T$  – тривалість споживання струму електровозом за час руху у вантажному і порожняковому напрямках, хв:

$$T_T = K_p T_{тпр}, \quad (66)$$

де  $T_{тпр}$  – тривалість руху за рейс,  $T_{тпр} = t_x + t_p$ , хв;  $K_p$  – коефіцієнт режиму роботи тягових двигунів (розраховують за спеціальною методикою),  $K_p = 1$  при безупинній роботі двигунів упродовж часу  $T_{тпр}$ .

Розрахункову кількість агрегатів округляють до більшого цілого числа.

Прийнятий до установки перетворювач перевіряють на перевантажувальну здатність.

## 9. РОЗРАХУНОК ЛОКОМОТИВНОЇ ВІДКАТКИ ДИЗЕЛЕВОЗАМИ

Розрахунок локомотивної відкатки поширюється на дизелевози вітчизняного і зарубіжного виробництва, які застосовуються для перевезення людей і вантажів у виробках шахт з ухилом колії від 0,005 до 0,050 і допущені до експлуатації у встановленому порядку [9].

### 9.1. Вихідні дані для розрахунку

9.1.1. Вихідні дані для виконання розрахунку локомотивної відкатки під час перевезення людей і вантажів наведені в п.п. 1, 3.

Якщо є профілографа маршрутів, виконана на основі результатів маркшейдерського нівелювання, то визначають розрахункові ухили колії, ‰:

– при зрушенні

$$i_{зр} = 1000 \frac{H_1 - H_2}{L_1}; \quad (67)$$

– при гальмуванні

$$i_2 = 1000 \frac{H_3 - H_4}{L_2}; \quad (68)$$

– середній на маршруті

$$i_c = 1000 \frac{H_k - H_n}{L_m}, \quad (69)$$

де  $H_1, H_2$  – відмітки профілю колії на відрізку виробки довжиною  $L_1$ , м;  $H_3, H_4$  – відмітки профілю колії на відрізку виробки довжиною  $L_2$ , м;  $L_1$  – довжина відрізка виробки, що дорівнює сумарній довжині состава, м;  $L_2$  – довжина відрізка виробки, що дорівнює сумарній довжині состава і гальмового шляху, м;  $H_k, H_n$  – відмітки профілю колії, відповідно в кінці і на початку маршруту, м;  $L_m$  – довжина маршруту, м.

## 9.2. Розрахунок вагової норми потяга

9.2.1. Для встановлення вагової норми потяга при локомотивній відкатці у виробках з підвищеними ухилами колії маса його розраховується по зрушенню на розрахунковому підйомі і перевіряється по гальмуванню на максимальному ухилі.

9.2.2. Допустима маса навантаженого состава за умови зрушення на розрахунковому підйомі, т:

$$m_{c.n} = m_n \frac{1000 \cdot \psi - 110a_0 - w_\delta - i_{зп}}{110a_0 + w_n + i_{зп}}, \quad (70)$$

де  $w_\delta$  – питомий опір руху дизелевоза ( $w_\delta = 25 \text{Н/кН}$ );  $w_n$  – питомий опір руху навантаженої рухомої одиниці состава, Н/кН (табл. 2).

9.2.3. Кількість вагонів (секцій) в составі

$$Z = \frac{m_{c.n.}}{C_3 \rho V + m_0}, \quad (71)$$

де  $\rho$  – насипна маса вантажу, т/м<sup>3</sup>;  $V$  – місткість кузова вагона, м<sup>3</sup>;  $C_3$  – коефіцієнт заповнення вагона (секції) за результатами вимірів комісією шахти (можна прийняти  $C_3 = 0,9$ ).

Отримане значення  $Z$  округляють до найближчого меншого цілого числа  $Z'$ .

9.2.4. По отриманій кількості вагонів визначають маси навантаженого та порожнього потягів

$$m_{c.n} = Z'(C_3 \rho V + m_0); \quad (72)$$

$$m_{c.n} = Z'm_0. \quad (73)$$

9.2.5. Перевірка вагової норми потяга при гальмуванні на максимальному ухилі виконується шляхом визначення безпечної швидкості руху рухомого складу на відрізках колії з підвищеним профілем і порівняння її зі швидкістю руху, яка забезпечується дизелевозом.

Безпечна швидкість руху, км/год:

$$V_{дон} = \sqrt{\frac{l_2}{4,17} \cdot \frac{1000\psi - Q(i_2 - w_n) - (i_2 - w_\delta)}{Q + 1}}, \quad (74)$$

де  $l_2$  – допустимий НПАОП 10.0-1.01 гальмовий шлях, м;  $Q$  – відношення прийнятої маси состава до зчіпної маси дизелевоза.

9.2.6. Величина тягового зусилля навантаженого і порожнього потягів, кН:

$$F_n = m_n g (w_\delta - i_c) + m_{c.n} g (w_z - i_c); \quad (75)$$

$$F_n = m_n g (w_\delta + i_c) + m_{c.n} g (w_n + i_c). \quad (76)$$

де  $w_n$  – питомий опір руху порожньої рухомої одиниці состава.

Відповідно до механічної характеристики дизеля (Додаток Б 16-18) встановлюються швидкості руху навантаженого  $V_n$  і порожнього  $V_n$  потягів.

Якщо  $V_n$  виявиться більшою за  $V_{дон}$ , то треба прийняти в експлуатації швидкість руху, що не перевищує  $V_{дон}$ . Якщо  $V_n \leq V_{дон}$ , то приймається швидкість, яка встановлена за механічною характеристикою дизеля  $V_n$ .

9.2.7. Тривалість руху навантаженого і порожнього потягів на маршруті, хв:

$$t_n = \frac{0,06L_M}{0,75V_n}; \quad (77)$$

$$t_n = \frac{0,06L_M}{0,75V_n}. \quad (78)$$

9.2.9. Час рейсу (циклу), хв:

$$T_p = t_n + t_n + Q_u, \quad (79)$$

де  $Q_u$  – тривалість перебування локомотива в пристовбурному дворі, в пункті навантаження, додаткових операцій чи зупинок в місцях перетинання транспортних магістралей та ін. (визначається хронометражем по шахті).

9.2.9. Кількість рейсів, що може виконати потяг протягом зміни

$$n_p = \frac{T_{відк}}{T_p}, \quad (80)$$

де  $T_{відк}$  – час роботи локомотивної відкатки протягом зміни, хв.

9.2.10. Повний час роботи дизельного локомотива в зміну з перевезення вантажів

$$T_d = (t_n + t_n)n_p, \text{ хв.} \quad (81)$$

9.2.11. Кількість рейсів, що необхідно виконати протягом зміни для забезпечення продуктивності дільниці, яка обслуговується

$$\tau = \frac{K_n Q_{зм}}{Z' C_3 \rho V}, \quad (82)$$

де  $K_n$  – коефіцієнт нерівномірності видачі вантажу. За відсутності акумулюючих ємностей  $K_n = 1,5$ . При наявності ємності визначається за розрахунком, але приймається рівним не менше ніж 1,25;  $Q_{зм}$  – змінний сумарний вантажопотік дільниці (вугілля, порода, матеріали та устаткування), т/зм.

9.2.12. Кількість локомотивів, необхідна для забезпечення змінної продуктивності дільниці

$$n_l = \frac{\tau}{n_p}. \quad (83)$$

9.2.13. Кількість робочих змін, протягом яких може працювати дизелевоз при одній заправці, визначається за формулою

$$n_z = \frac{\gamma_n V_\delta}{q_n W T_d}, \quad (84)$$

де  $\gamma_n$  – об'ємна маса палива, г/л;  $V_\delta$  – місткість паливного бака, л;  $q_n$  – питома витрата палива, г/кВт·год;  $W$  – потужність дизельного агрегату, кВт.

### 9.3. Встановлення можливої кількості локомотивів за екологічними характеристиками дизеля

9.3.1. У зв'язку з токсичністю вихлопних газів дизельних машин застосування їх можливе не повсюдно в діючих підземних виробках шахт, а тільки там, де обсяг свіжого повітря, що надходить для провітрювання виробок,



спроможний розбавити вихлопні гази до гранично допустимого вмісту їхніх отруйних компонентів в атмосфері (окису вуглецю та окислів азоту). У нерозбавлених вихлопних газах самих машин при будь-яких режимах роботи, що допускаються, концентрація окису вуглецю також не повинна перевищувати 0,08% за обсягом, а окислів азоту – 0,07%.

9.3.2. Необхідна витрата повітря на провітрювання виробок, що обслуговуються машинами з дизельним приводом ( $Q_6$ ), у метрах кубічних на хвилину по чиннику розрідження вихлопних газів визначається за формулою:

$$Q_6 = \frac{C_{NO_2}}{a_{NO_2}} q_6 N_{\Sigma} k_o, \quad (85)$$

де  $C_{NO_2}$  – максимальна концентрація окислів азоту в нерозбавлених вихлопних газах двигунів, % за обсягом. Приймається рівною гранично допустимій величині 0,07%;  $a_{NO_2}$  – гранично допустима концентрація окислів азоту в атмосфері виробок, % за обсягом. Приймається рівною 0,0002%;  $q_6$  – питомий вихід вихлопних газів, м<sup>3</sup>/хв·к.с.;  $N_{\Sigma}$  – сумарна номінальна потужність машин, що одночасно працюють у виробці (або в системі послідовно провітрюваних виробок), к.с.;  $k_o$  – коефіцієнт одночасності роботи і ступеня навантаження двигунів, що залежить від кількості машин  $n_l$ , які експлуатуються в системі послідовно провітрюваних виробок. Приймається: при  $n_l = 1$   $k_o = 1$ ; при  $n_l = 2$   $k_o = 0,85$ ; при  $n_l = 3$  і більше  $k_o = 0,6$ .

9.3.3. Відповідно до встановленої за формулою (83) потрібної кількості локомотивів  $n_l$  визначається необхідна витрата повітря на провітрювання виробок за формулою (85) і порівнюється з кількістю свіжого повітря, яке надійде в послідовно провітрювані відкотні виробки.

На підставі цього порівняння приймається остаточне рішення про кількість дизельних локомотивів, що можуть бути використані на дільниці.

## 10. РОЗРАХУНОК ЛОКОМОТИВНОЇ ВІДКАТКИ ІНЕРЦІЙНИМИ ЛОКОМОТИВАМИ (ГІРОВОЗАМИ)

10.1. Основні задачі розрахунку: визначити вагову норму потяга; пробіг потяга, який може забезпечити запас енергії маховика гірОВОЗА за один цикл зарядки; необхідну кількість потягів для перевезення запланованого об'єму вантажу на протязі зміни.

Вагову норму треба визначити після розрахунку допустимої маси причіпної частини потяга, виходячи з номінального тягового зусилля гірОВОЗА, з наступною перевіркою її за умови екстреного гальмування на нормативній довжині гальмового шляху.

10.2. Допустима маса причіпної частини потяга, т

$$m_o = \frac{1000F_n}{g(w_0 + w_{kp} \pm i)}, \quad (86)$$

де  $F_n$  – номінальне тягове зусилля гірОВОЗА, кН (для гірОВОЗІВ типу Гб ТУ12.44.1031 приймають  $F_n = 2,4$ кН);  $w_0$  – основний питомий опір руху

рухомого складу причіпної частини потяга Н/кН;  $w_{кр}$  – додатковий питомий опір руху від кривих, Н/кН.

$$w_{кр} = \frac{120(S_{\delta} + K)}{r} \delta_{\beta}, \quad (87)$$

де  $S_{\delta}$  – жорстка база вагона (секції), м;  $K$  – ширина колії, м;  $r$  – радіус кривої, м;  $\delta$  – коефіцієнт, що враховує вплив завантаження вагона (секції) (для навантаженого  $\delta = 0,85$ , для порожнього  $\delta = 1,0$ );  $\beta$  – коефіцієнт, що враховує вплив стану поверхні рейок (для сухих  $\beta = 1,0$ , для мокрих  $\beta = 0,45$ ).

Знак “плюс” в знаменнику формули треба застосовувати під час руху на підйом, “мінус” – при спуску.

10.3. Кількість рухомих одиниць в причіпній частині потяга:

– навантаженого

$$z_n = \frac{m_{\delta}}{C_3 \rho V + m_0}; \quad (88)$$

– порожнього

$$z_n = \frac{m_{\delta}}{m_0}. \quad (89)$$

Приймають менше значення з двох та округляють до найближчого меншого цілого числа  $z$ .

10.4. Уточнюють допустиму масу причіпної частини потяга:

– навантаженого

$$m_{\delta n} = z(C_3 \rho V + m_0); \quad (90)$$

– порожнього

$$m_{\delta n} = z m_0. \quad (91)$$

10.5. Маса причіпної частини потяга, що задовольняє умові гальмування на нормативній довжині гальмового шляху  $l_T$ , т

$$m_T = \frac{1000\psi}{\frac{110v_{дон}^2}{2l_T} - w_0 - w_{кр} + i}. \quad (92)$$

10.6. За вагову норму потяга вважають масу причіпної частини, що задовольняє умові

$$m_{\delta} \leq m_T. \quad (93)$$

У разі невідповідності результатів розрахунків умові (93) кількість рухомого складу причіпної частини потяга треба зменшити на одну одиницю і розрахунок повторити з застосуванням (92) до відповідності результатів умові (93).

10.7. Пробіг потяга, який може забезпечити запас енергії маховика гірвооза, за один цикл його зарядки, м

$$L_n = \frac{E\eta}{gm_{\delta}(w_0 + w_{кр} \pm i)}, \quad (94)$$

де  $E$  – використаний запас енергії маховика гірвооза, кН·м (для гірвооза Гб ТУ12.44.1031  $E = 9,4 \cdot 10^3$  кН·м);  $\eta$  – ККД механізмів гірвооза з урахуванням витрат під час його розгону,  $\eta = 0,6$ .

10.8. Необхідна кількість потягів для перевезення запланованого об'єму вантажу упродовж зміни

$$n_p = \frac{RQ_{зм}T_p}{q_в(T_{зм} - T_{дл} - 30)}, \quad (95)$$

де  $R$  – коефіцієнт резерву продуктивності відкатки;  $Q_{зм}$  – змінний видобуток, т;  $T_{зм}$  – тривалість видобувної зміни, хв (час роботи відкатки в зміну приймається за нормами технологічного проектування на 30 хв менше тривалості зміни);  $T_{дл}$  – тривалість доставки людей, коли зупиняється відкатка вантажів;  $q_в$  – вантажопідйомність потяга;  $T_p$  – тривалість рейсу, хв

$$T_p = t_n + t_v + \theta_1 + \theta_2 + \theta_3, \quad (96)$$

де  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  – тривалість перебування потяга відповідно в пристовбурному дворі, у пункті навантаження і додаткових операцій (зупинок) у місцях перетинання транспортних магістралей та ін., визначається хронометражем на шахті або приймається:  $\theta_1 = 15$  хв для вагонів із глухим кузовом,  $\theta_1 = 10$  хв – із донним розвантаженням,  $\theta_1 = 7$  хв для секційних потягів;  $\theta_2 = 10$  хв для всіх типів вагонів,  $\theta_2 = 7$  хв для секційних потягів;  $\theta_3$  – від 5 хв до 10 хв.

Час руху потяга, хв:

– навантаженого

$$t_v = \frac{60L_m}{0,75V_n}; \quad (97)$$

– порожнього

$$t_n = \frac{60L_m}{0,75V_n}. \quad (98)$$

Якщо навантажувальний пункт обслуговує тільки підготовчі вибої, то  $R = 1$ . В усіх інших випадках

$$R = 0,75 + 0,64(1 - K_n) \sqrt{\frac{Q_{зм}}{q_в + E_б}}, \quad (99)$$

де  $E_б$  – місткість бункера у навантажувальному пункті, т;  $K_n$  – коефіцієнт часу надходження вантажу від одного очисного вибою у бункер.

При човниковій (двосторонній), а також при односторонній без зачищення схемах роботи виймальної машини

$$K_n = K_m = \frac{t_в}{60T_{зм}}. \quad (100)$$

При односторонній схемі роботи із зачищенням

$$K_n = \frac{t_в + t_з}{60T_{зм}} = K_m = \frac{t_з}{60T_m}, \quad (101)$$

де  $K_m$  – коефіцієнт машинного часу;  $t_в$  – тривалість роботи виймальної машини з виймання протягом зміни, хв;  $t_з$  – тривалість зачищення очисного вибою при зворотному ході виймальної машини протягом зміни, хв:

$$t_з = \frac{L_{оз}N}{0,85V_{max..m}}, \quad (102)$$

де  $N$  – кількість робочих циклів виймальної машини в зміну, приймається за циклограмою очисних робіт або обчислюється за формулою:

$$N = \frac{Q_{зм}}{mbL_{оз}T_{ц}}; \quad (103)$$

де  $V_{max.m}$  – максимальна маневрова швидкість машини, м/хв;  $L_{оз}$  – довжина очисного вибою, м;  $m$  – виймальна потужність пласта, м;  $b$  – ширина захвату за один цикл, м.

Якщо навантажувальний пункт обслуговує  $n$  очисних вибоїв, тоді змінний видобуток і коефіцієнт часу надходження вантажу

$$Q_{зм} = \sum_{i=1}^n Q_{зм.i}; \quad (104)$$

$$K_n = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - K_{н.i}), \quad (105)$$

де  $Q_{зм.1}, Q_{зм.2}, \dots, Q_{зм.n}$  – середньозмінний вантажопотік з кожного очисного вибою, що подає вантаж у бункер, т;  $K_{н.1}, K_{н.2}, \dots, K_{н.n}$  – коефіцієнт часу надходження вантажу з кожного очисного вибою.

Якщо у навантажувальний пункт надходять вантажопотоки з очисних та підготовчих вибоїв, то до змінних видобутків очисних вибоїв треба додавати змінні вантажопотоки підготовчих вибоїв, а коефіцієнт часу надходження вантажу повинен врахувати тільки вантажопотоки від очисних вибоїв. Вантажопотік навантажувального пункту, що обслуговує один або декілька підготовчих вибоїв, характеризується тільки змінним видобутком  $Q_{зм}$ .

## 11. ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКУ ШАХТНОГО ЕЛЕКТРОВОЗНОГО ТРАНСПОРТУ

**Приклад 1.** Розрахунок транспорту з акумуляторними електровозами на вугільній шахті.

### 11.1. Вихідні дані і задачі розрахунку

*Вихідні дані:* виробнича потужність шахти 1,5 млн. т вугілля на рік, шахта 3-ї категорії по газу, по пилу не небезпечна; вантажні вагони типу ВДК-2,5, пасажирські – ВПГ-18; вантаж, що транспортується, – кам'яне вугілля насипною щільністю 0,85 т/м<sup>3</sup>, порода насипною щільністю 1,4 т/м<sup>3</sup>; план, профіль і довжини маршрутів за рис. 3, а і табл. 4, від навантажувальних пунктів 4-6 і 7-9 транспорт дволанковий (перша ланка – дільничний транспорт до групових розминок 2 і 3, друга ланка – магістральний транспорт від групових розминок до пристовбурного двору 1; від навантажувальних пунктів 10 і 11 транспорт одностанковий – магістральний транспорт до пристовбурного двору; транспортування здійснюється в змішаних складах (в одному складі є вагони з вугіллям і породою), електровози за навантажувальними пунктами і складами за електровозами не закріплені.

Тривалість зміни 6 год; видобувних змін – три, ремонтна – одна. Колія 900 мм; рейки – вологі, практично чисті.

*Задачі розрахунку:* вибрати тип електровоза, основне устаткування зарядної підстанції; визначити кількість вагонів у составі, кількість електровозів і тягових батарей, основні показники транспорту.

Таблиця 4

Дані до прикладу 1

Показники	Навантажувальні пункти									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Змінний вантажопотік, т: по вугіллю по породі	400	500	200	150	150	150	100	150	350	450
	80	150	30	25	25	50	40	60	70	90
Довжина маршруту між пунктами, км	2-1	3-1	4-2	5-2	6-2	7-3	8-3	9-3	10-1	11-2
	1,45	1,25	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5	2,05	1,75
Уклон колії маршрутів (спуск у вантажному напрямку), %; середній керівний	2-1	3-1	4-2	5-2	6-2	7-3	8-3	9-3	10-1	11-2
	4	5	3	3	3	3	3	3	3	5
	8	14	5	5	5	5	5	5	10	12

## 11.2. Вибір типу електровоза

Згідно з рис. 1 приймаємо як тяговий засіб спарений електровоз 2АМ8Д.

### Технічна характеристика електровоза 2АМ8Д

Зчіпна маса, т	16
Ширина колії, мм	900
Довжина по буферам, мм	9470
Дані часового режиму:	
потужність, кВт	4·12 = 48
сила тяги, Н	23·10 <sup>3</sup>
швидкість руху, км/г	7,2

Гальмова система: колодкове гальмо з ручним приводом, що діє на одну секцію електровоза, і електродинамічна гальмова система тяговими двигунами.

### Тягові двигуни

Тип	ДПТР-12
Кількість двигунів	4
Напруга двигуна, В	130
Годинний струм, А	113
Тривалий струм, А	50

### Тягова батарея

Тип	2x112ТНЖШ-500
Номінальна ємність, А·г	500
Середня розрядна напруга, В	129
Енергоємність батареї, кВт·год	130
Номінальний режим розряду	5-годинний

Вантажні вагони: тип ВДК 2,5, місткість кузова 2,5 м<sup>3</sup>, колія 900 мм, жорстка база 1650 мм, довжина 2900 мм, маса 1,36 т.

Пасажирські вагони: тип ВПГ 18, колія 900 мм, кількість посадкових місць 18, довжина по виступаючих частинах (габарит) 5300 мм, маса 1,7 т.

### 11.3. Обробка вихідних даних

Розрахункова схема магістрального транспорту відповідає рис. 3, б. Її розрахункові дані зведені в табл. 5.

Таблиця 5

Дані магістрального транспорту до прикладу 1 (див. рис. 3, б)

Маршрут	Довжина, км	Змінний вантажопотік, т		Уклон, ‰	
		вугілля	породи	середній	керівний
2-1	1,45	400	80	4	8
3-1	1,25	500	150	5	14
10-1	2,05	350	70	3	10
11-1	1,75	450	90	5	12
Усього		1700	390		

Оскільки електровоз не закріплено за навантажувальними пунктами і профіль маршрутів близький до нормального, подальший розрахунок виконуємо за розрахунковою схемою рис. 3, з, тобто по середньозважених характеристиках транспортної схеми.

За формулою (3) середньозважена відстань транспортування

$$l_{сзв} = l_{1-12} = \frac{480 \cdot 1,45 + 650 \cdot 1,25 + 420 \cdot 2,05 + 540 \cdot 1,75}{480 + 650 + 420 + 540} = 1,59 \text{ км.}$$

За (4) середньозважений середній ухил

$$i_{сзв.с} = \frac{480 \cdot 4 + 650 \cdot 5 + 420 \cdot 3 + 540 \cdot 5}{2090} = 4,4 \text{ ‰.}$$

За формулою (4') середньозважений керівний ухил

$$i_{сзв.к.} = \frac{480 \cdot 8 + 650 \cdot 14 + 420 \cdot 10 + 540 \cdot 12}{2090} = 11,3 \text{ ‰.}$$

За (5) розрахунковий вантажопотік наведеної схеми (див. рис. 3, з) по вугіллю

$$Q_{зм} = 400 + 500 + 350 + 450 = 1700 \text{ т;}$$

по породі

$$Q_{зм.п.} = 80 + 150 + 70 + 90 = 390 \text{ т.}$$

### 11.4. Визначення кількості вагонів у составі

За формулою (10) допустима маса порожнього поїзда за умовою зрушення його на середньозваженому підйомі при  $m_n = 16 \text{ т; } \psi = 0,09$  (див. табл. 1);  $i_{сзв} = 4,4 \text{ ‰; } w_{o.n} = 11 \text{ Н/кН}$  (див. табл. 2);  $w_{кр} = 0$ ;  $a_0 = 0,04 \text{ м/с}^2$

$$m_{n.n} = \frac{100 \cdot 16 \cdot 0,09}{11 + 4,4 + 108 \cdot 0,04} = 73 \text{ т.}$$

За формулою (11) допустима маса порожнього поїзда за умови сталого руху його по керівному підйомі при  $w_{o.n}=11$  Н/кН (див. табл. 2);  $i_k=11,3$  ‰.

$$m_{n.n} = \frac{1000 \cdot 16 \cdot 0,09}{11 + 11,3} = 64,6 \text{ т.}$$

За (10) допустима маса навантаженого поїзда за умови руху його на горизонтальній ділянці колії біля навантажувального пункту  $w_{o.z} = 9$  Н/кН

$$m_{n.в.} = \frac{1000 \cdot 16 \cdot 0,09}{9 + 0 + 108 \cdot 0,04} = 108,1 \text{ т.}$$

Маса вугілля у вагоні  $m = 2,5 \cdot 0,85 = 2,12$  т; маса породи у вагоні  $m_n = 2,5 \cdot 1,4 = 3,5$  т; де 2,5 – місткість вагона, м<sup>3</sup>; 0,85; 1,4 – насипна щільність відповідно вугілля і породи.

За виразом (22) зведена вантажопідйомність вагону

$$m_{np} = \frac{2,12}{1 - \frac{390}{1700} \cdot \left(1 - \frac{2,12}{3,5}\right)} = 2,34 \text{ т.}$$

Маса тари вагону відповідно до характеристики вагону 1,36 т. Приймаємо коефіцієнт, що враховує побіжне перевезення вантажів у порожняковому напрямку і нерозвантажений залишок гірської маси, рівним 0,15.

Граничну кількість порожніх вагонів в складі визначаємо за формулою (18) відповідно до меншого значення маси порожнього потяга 64,6 т:

$$Z_n = \frac{64,6 - 16}{1,36 + 0,15 \cdot 2,34} = 28,4;$$

граничну кількість навантажених вагонів за (19):

$$Z_{в.} = \frac{108,1 - 16}{1,36 + 2,34} = 24,9.$$

Приймаємо 25 вагонів у складі, оскільки їхня гранична кількість обмежується рушанням навантаженого поїзда на горизонтальній ділянці шляху біля навантажувального пункту.

За формулою (20) дійсна маса порожнього поїзда

$$m_{n.n} = 25 \cdot (1,36 + 0,15 \cdot 2,34) + 16 = 58,8 \text{ т.}$$

За виразом (21) маса навантаженого поїзда

$$m_{n.в.} = 25 \cdot (1,36 + 2,34) + 16 = 108,5 \text{ т.}$$

### 11.5. Перевірка маси потяга за гальмуванням

Перевірку виконуємо для найбільш важкого випадку – екстреного гальмування навантаженого поїзда на спуску крутістю 11,4 ‰.

За формулою (24) максимальна гальмова сила, що може реалізувати електровоз при включенні тільки електродинамічного гальмування або разом з накладенням стоянкового (колодкового) гальма,

$$B_{д.з.} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 16 \cdot 0,09 = 14126 \text{ Н,}$$

а при включенні тільки колодкового гальма, що впливає на одну секцію,

$$B'_{д.з.} = \frac{14126}{2} = 7063 \text{ Н.}$$

За виразом (28)

$$a_T = 0,01 \cdot \left( \frac{14126}{9,81 \cdot 108,5} + 9 - 11,3 \right) = 0,11 \text{ м/с}^2,$$

а допустима швидкість руху поїзда при тривалості підготовки гальм до дії 3 с за формулою (27)

$$V_{\text{дон}} = \sqrt{2 \cdot 0,11 \cdot 40 + (0,11 \cdot 3)^2} - 0,11 \cdot 3 = 2,65 \text{ м/с} = 9,5 \text{ км/г.}$$

В іншому випадку, коли реалізована гальмова сила дорівнює 7063 Н, уповільнення поїзда, розраховане за формулою (28),  $a_T = 0,043 \text{ м/с}^2$ , а допустима швидкість руху, розрахована за (27),

$$V_{\text{дон}} = 1,86 \text{ м/с} = 6,23 \text{ км/г.}$$

Отже, за гальмуванням застосування состава із 25 вагонів допустиме, але відсутність можливості накладення гальм на обидві секції електровоза вводить тверді обмеження швидкості руху поїзда по розрахунковому спуску.

### 11.6. Перевірка маси потяга за нагріванням тягових двигунів електровоза

Перевірку виконуємо виходячи з тягового навантаження електровоза на середньозваженому ухилі, припускаючи, що вплив коротких ділянок колії більшої крутості на нагрівання двигуна незначний і ним можна знехотити. Відповідно до технічної характеристики електровоза тривалий струм двигуна  $I_{\text{об}} = 50 \text{ А}$ .

Сила тяги, що приходить на один двигун для порожнякового напрямку при  $m_{n,n} = 58,8 \text{ т}$  за формулою (31)

$$F'_x = \frac{9,81 \cdot 58,8 \cdot (11 + 4,4)}{4} = 2220 \text{ Н};$$

для вантажного напрямку при  $m_{n,v} = 108,5 \text{ т}$  за формулою (32)

$$F'_p = \frac{9,81 \cdot 58,8 \cdot (9 + 4,4)}{4} = 1233 \text{ Н.}$$

Відповідно до електромеханічних характеристик (Додаток Б) цим значенням сил тяги відповідають значення сили струму двигуна ДПТР-12 і швидкості руху електровоза 2АМ8Д, які зведені до табл. 6.

Таблиця 6

Параметр	Напрямок руху	
	порожняковий	вантажний
Сила тяги, Н	2220	1233
Сила струму, А	65	50
Стала швидкість руху, км/г (м/с)	12,7 (2,6)	11,5 (3,2)

Тривалість рейсу за формулою (34)

$$T_p = \frac{1590}{60 \cdot 0,8 \cdot 2,6} + \frac{1590}{60 \cdot 0,8 \cdot 3,2} + 30 = 53,1 \text{ хв.}$$

Прийнявши коефіцієнт, що враховує додаткове нагрівання двигуна при виконанні маневрів,  $\gamma = 1,25$ , визначаємо

$$I_e = 1,25 \sqrt{\frac{65^2 \cdot 12,7 + 50^2 \cdot 10,3}{53,1}} = 48,3 \text{ А.}$$



Оскільки  $I_{mp} > I_e$  ( $50 > 48,3$ ), нагрівання двигунів знаходиться в допустимих межах. Краще виконати розрахунки спочатку за розділом 11.6, потім за 11.5.

### 11.7. Перевірка маси потяга за розрядним струмом тягової батареї

Дані тягової батареї  $2 \times 112$  ТНЖШ-500, якою оснащено електровоз 2АМ8Д: електрична ємність 500 А·ч, номінальний розрядний режим – п'ятигодинний.

Приймаємо:  $K_\delta = 1,0$  (батарея віддає номінальну розрядну ємність);  $K_{реж} = 1,5$  (розрахункове перевантаження тягової батареї за струмом).

Максимальний розрядний струм батареї за (35)

$$I_{\max. бат} = \frac{500 \cdot 1 \cdot 1,5}{1} = 150 \text{ А.}$$

Схемою електровоза передбачено два групування тягових двигунів: усі чотири двигуни двох секцій з'єднані послідовно; два послідовно включених двигуни секції з'єднані паралельно.

При послідовному з'єднанні двигунів за формулою (36) максимальний за батареєю струм двигуна

$$I_{\max. дв} = I_{\max. бат} = 150 \text{ А,}$$

при послідовно-паралельному з'єднанні

$$I_{\max. дв} = \frac{150}{2} = 75 \text{ А.}$$

Цим струмам відповідають за електромеханічними характеристиками сили тяги, що приходяться на двигун: при силі струму 150 А  $F'_{к. бат} = 8500$  Н, при силі струму 75 А  $F'_{к. бат} = 3000$  Н.

При послідовно-паралельному з'єднанні тягових двигунів відповідно до формули (38) допустима за розрядним струмом батареї маса порожнього поїзда за умовою сталого руху його на середньому підйомі 4,4 ‰

$$m_{n.n} = \frac{4 \cdot 3000}{9,81 \cdot (11 + 4,4)} = 79,4 \text{ т,}$$

те ж на керівному підйомі 11,3 ‰

$$m_{n.n} = \frac{4 \cdot 3000}{9,81 \cdot (11 + 11,3)} = 54,8 \text{ т.}$$

Отже, на підйомі 4,4 ‰ немає обмеження маси поїзда за розрядним струмом, оскільки розрахункове значення маси потяга 79,4 т більше раніше прийнятої маси 64,6 т, а на підйомі 11,3 ‰ мається обмеження, яке усувається переходом при русі поїзда по цьому підйомі на послідовне з'єднання двигунів, при якому допускається за розрядним струмом батареї маса поїзда

$$m_{n.n} = \frac{4 \cdot 8500}{9,81 \cdot (11 + 11,3)} = 155,4 \text{ т.}$$

З урахуванням усіх розглянутих обмежувальних факторів приймаємо состав із 25 вагонів ВДК-2,5.

## 11.8. Визначення кількості електровозів та їхньої продуктивності

Можлива за балансом часу кількість рейсів одного електровоза за (39):

$$r_6 = \frac{60 \cdot 6 \cdot 0,8}{53,1} = 5,4 \text{ рейсу.}$$

Приймаємо 5 рейсів.

Приймаючи коефіцієнт нерівномірності вантажопотоку 1,5, зведену масу гірничої маси 2,34 (22), змінні вантажопотоки: вугілля 1700 т, породи 390 т (див. табл. 5) і кількість пасажирських рейсів 4 (по кількості відокремлених маршрутів), за формулою (41) визначаємо загальну кількість рейсів для забезпечення змінного вантажопотоку гірської маси в змішаних та пасажирів у відокремлених складах:

$$r_0 = \frac{1,5 \cdot (1700 + 390)}{25 \cdot 2,34} + 4 = 57 \text{ рейсів.}$$

Кількість рейсових електровозів для всього транспортного горизонту за (42)

$$n_{л.рейс} = \frac{57}{5} = 11,4.$$

Приймаємо попередньо 12 рейсових електровозів 2АМ8Д.

Розрахункова (з урахуванням коефіцієнта нерівномірності вантажопотоку) змінна продуктивність одного рейсового електровоза за формулою (43)

$$A = \frac{1,5 \cdot (1700 + 390) \cdot 1,59}{12} = 411 \text{ т} \cdot \text{км.}$$

Кількість рейсових електровозів для обслуговування навантажувального пункту 2 (див. табл. 7, маршрут 2-1) за виразом (44)

$$n_{л.рейс2} = \frac{1,5 \cdot (400 + 80) \cdot 1,45}{411} = 2,5$$

та інших навантажувальних пунктів: третього – 3,0; десятого – 3,1; одинадцятого – 3,4.

Загальна кількість рейсових машин при закріпленні їх за навантажувальними пунктами за формулою (45)

$$n_{л.рейс} = 3 + 3 + 3 + 4 = 13,$$

без закріплення за навантажувальними пунктами за (46)

$$n_{л.рейс} = 2,5 + 3,0 + 3,1 + 3,4 = 12,0,$$

тобто треба прийняти 12 машин, оскільки за вихідними даними прийнята організація транспорту без закріплення машин за навантажувальними пунктами.

Для обслуговування першої ланки транспорту (дільничного) приймаємо односекційні електровози АМ8Д: розрахунковий обсяг транспортної роботи першої ланки з урахуванням коефіцієнта нерівномірності 1,5 (див. табл. 4, рис. 3, в) від вибоїв до пункту 2

$$A_2 = 1,5 \cdot (230 + 175 + 175) \cdot 0,4 = 348 \text{ т} \cdot \text{км}$$

і від вибоїв до пункту 3

$$A_3 = 1,5 \cdot (230 + 140 + 210) \cdot 0,4 = 330 \text{ т} \cdot \text{км.}$$

З урахуванням того, що продуктивність односекційного електровоза АМ8Д буде менше, ніж електровоза 2АМ8Д, приймаємо для обслуговування навантажувальних пунктів 4, 5, 6 і 7, 8, 9 першої ланки транспорту по дві машини АМ8Д; усього чотири електровози.

Для обслуговування допоміжних операцій в пристовбурному дворі при проходці виробок і виконанні інших операцій приймаємо (без розрахунку) три електровози АМ8Д.

Тип електровоза	Усього електровозів		
	рейсових	допоміжних	інвентарних ( $K_{инв} = 1,15$ )
2АМ8Д	12	-	13
АМ8Д	4	3	8

### 11.9. Розрахунок кількості тягових батарей і зарядних столів

Враховуючи, що на кожному електровозі 2АМ8Д установлені дві батареї 112 ТНЖШ-500, а на електровозі АМ8Д – одна батарея того ж типу, кількість робочих батарей за виразом (48)

$$n_{бат.раб} = 2 \cdot 2 \cdot 12 + 2 \cdot (4 + 3) = 62 \text{ батареї.}$$

Кількість інвентарних батарей за формулою (49)

$$n_{бат.инв} = 1,1 \cdot 62 = 68 \text{ батарей.}$$

Кількість зарядних столів за (50)

$$n_{ст} = n_{л.инв} + 2 = 68 + 4 = 72 \text{ столи.}$$

### 11.10. Перевірка можливості роботи електровоза 2АМ8Д без заміни тягової батареї 2×112 ТНЖШ-500 протягом робочої зміни

Витрати енергії електровозом за один рейс, віднесені до ведучих колісних пар, за формулою (51)

$$a_{ц.к.} = 0,278 \cdot 10^{-6} \cdot (2220 \cdot 4 + 1233 \cdot 4)(1590 + 500) = 8,03 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

де 2220 і 1233 – сила тяги в Ньютонах відповідно при холостому і робочому ході, віднесена до одного двигуна, розрахована за формулами (31) і (32).

Енергоємність тягової батареї за виразом (52)

$$A_0 = 10^{-3} \cdot 1,0 \cdot 500 \cdot 2 \cdot 129 = 129 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Можлива за енергоємністю батареї кількість рейсів за (53)

$$r_{м.ен} = \frac{129 \cdot 0,5}{8,03} = 8,0 \text{ рейсів.}$$

Оскільки можлива за часом кількість рейсів за формулою (39) дорівнює 5, то енергоємність батареї достатня для роботи електровоза протягом робочої зміни.

### 11.11. Основні показники електровозного транспорту

Нормативна змінна продуктивність одного рейсового електровоза, розрахована за умовою стовідсоткового вивозу змінного видобутку, за (55)

$$A_{зм.рейс} = \frac{(1700 + 390) \cdot 1,59}{12} = 277 \text{ т} \cdot \text{км.}$$

Розрахункова місячна продуктивність рейсового електровоза за (56)

$$A_{міс.рейс} = 277 \cdot 3 \cdot 24 = 19944 \text{ т} \cdot \text{км.},$$

прийнятна для електровозів даного типу.

Витрата енергії за рейс на шинах змінного струму перетворювальної підстанції для живлення зарядних пристроїв за формулою (58)

$$a_{ч.н} = \frac{8,03}{0,5 \cdot 0,47 \cdot 0,9} = 38 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Питома витрата енергії на шинах змінного струму перетворювальної підстанції, віднесена до одного тонно-кілометра нетто

$$a_{н.нет} = \frac{38}{25 \cdot 2,34 \cdot 1,59} = 0,408 \text{ кВт} \cdot \text{год} / (\text{т} \cdot \text{км}).$$

Змінна витрата енергії: на магістральному транспорті за (60)

$$A_{зм.м} = 0,408 \cdot (1700 + 390) \cdot 1,59 = 1356 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

у першій ланці

$$A_{зм.ланки} = 0,408 \cdot (348 + 330) \cdot 0,4 = 111 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

допоміжними електровозами приймаємо орієнтовно 50 кВт · год.

Загальні змінні витрати енергії

$$A_{зм} = 1356 + 111 + 50 = 1517 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

## 11.12. Вибір основного обладнання зарядної підстанції

Передбачаємо індивідуальний заряд батареї зарядним пристроєм ЗУК 150/230: виконання РП, номінальний випрямлений струм 155 А, номінальна випрямлена напруга 230 В, напруга живильної мережі (380/660) ± 10 %, ККД 0,93.

Кількість зарядних пристроїв:

– для 13 інвентарних електровозів 2АМ8Д – 26;

– для 8 інвентарних електровозів АМ8Д – 8 (усього 34 робочі зарядні пристрої).

Потужність одного зарядного пристрою

$$P_{з.н} = 10^{-3} \cdot 155 \cdot 230 = 35,6 \text{ кВт} \cdot \text{А.}$$

Інвентарна кількість зарядних пристроїв за формулою (61')

$$n_{з.н.інв} = 1,1 \cdot 34 = 37 \text{ шт.}$$

Сумарна потужність трансформаторів, що живлять зарядні пристрої, за (63)

$$P_{тр} = \frac{0,9 \cdot 34 \cdot 35,6}{0,93} = 1170 \text{ кВт} \cdot \text{А.}$$

**Приклад 2.** Розрахунок транспорту з контактними електровозами

## 11.13. Вихідні дані і задачі розрахунку

Вихідні дані: матеріал, що транспортується, – залізна руда щільністю в насипці 2,5 т/м<sup>3</sup>; план, профіль, довжини ділянок та їхня продуктивність за рис. 4 і табл. 7; транспорт одноланковий, електровози закріплені за складами,

за маршрутами – не закріплені; тривалість зміни – 7 год; ширина рейкової колії 750 мм; на головних відкаточних коліях застосовані рейки Р33; стан рейок – чисті, сухі.

Таблиця 7

Дані до прикладу 2

Показник	Орти						
	1	2	3	4	5	6	7
Змінна продуктивність ортів, т	400	350	370	450	430	300	500
Відстань транспортування, км	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8
Середній уклон колії (спуск в вантажному напрямку), ‰	4	4	4	4	4	4	4

Задачі розрахунку: вибрати тип електровоза, визначити кількість вагонів у составі, кількість електровозів, установити основні показники транспорту, вибрати основне устаткування тягової підстанції.

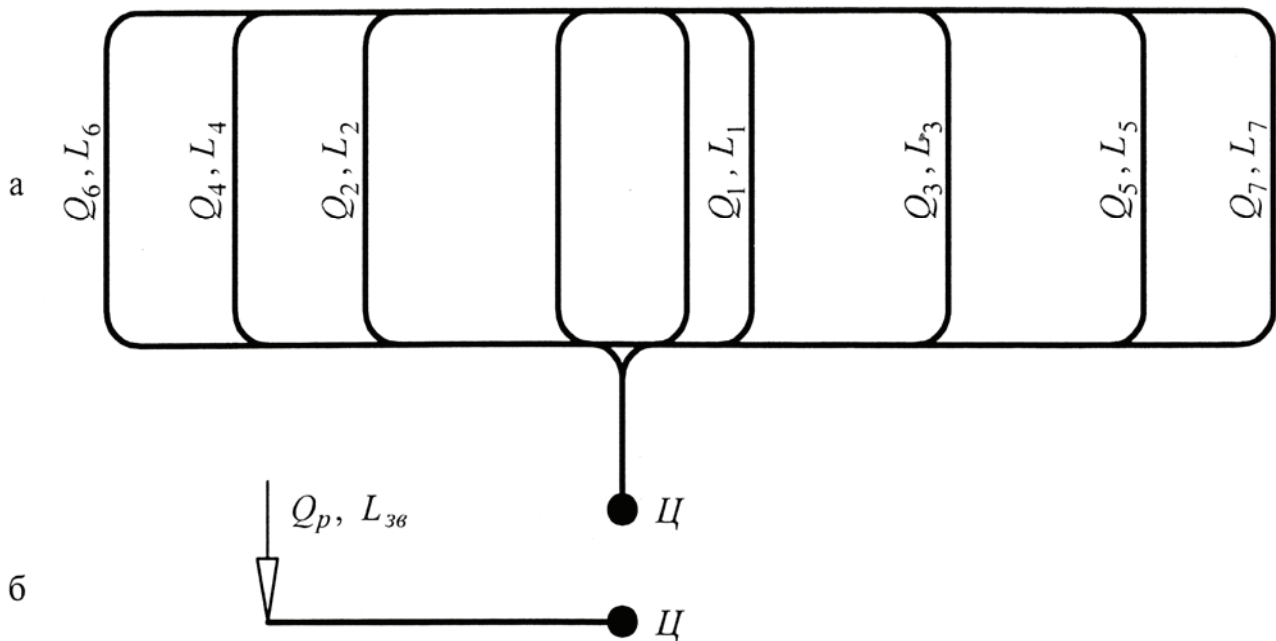


Рис. 4. Схеми транспорту: а) дійсна; б) розрахункова

### 11.14. Вибір типів електровоза і вагонів

Приймаємо як тяговий засіб електровоз К14 (див. Додаток А 1).

Технічна характеристика електровоза К14

Зчіпна маса, т	Ширина колії, мм	Дані часового режиму:			Тягові двигуни:					Габаритні розміри, мм:		
		потужність, кВт	сила тяги, Н	швидкість руху, км/г	тип	кількість двигунів	напряга двигуна, В	годинний струм, А	тривалий струм, А	довжина по буферах	ширина	висота
14	750	2·55=110	23,5 · 10 <sup>3</sup>	12,8	ЕТ-46	2	250	204	81,6	5200	1350	1650

Вантажні вагони (Додаток А 3): тип ВГ-4,0, місткість кузова 4,0 м<sup>3</sup>, вантажопідйомність 12 т, колія 750 мм, жорстка база 1250 мм, довжина 3820 мм, маса тари 3000 кг.

Пасажирські вагони: тип ВПГ18, колія 750 мм, кількість посадкових місць 18, довжина по виступаючих частинах 5300 мм, маса тари 1700 кг.

### 11.15. Обробка вихідних даних

Дійсну схему транспорту (рис. 4, а) заміняємо розрахунковою (рис. 4, б). Оскільки електровози не закріплені за маршрутами і профіль колії витриманий і задовольняє вимогам Правил безпеки, розрахунок виконуємо за схемою (рис. 4, б) із середньозваженими характеристиками.

Середньозважена відстань транспортування за формулою (3)

$$l_{св} = \frac{400 \cdot 1,4 + 350 \cdot 1,5 + 370 \cdot 1,5 + 450 \cdot 1,6 + 430 \cdot 1,6 + 300 \cdot 1,7 + 500 \cdot 1,8}{400 + 350 + 370 + 450 + 430 + 300 + 500} = 1,6 \text{ км.}$$

Середній ухил колії (він же розрахунковий)  $i_c = i_p = 4 \text{ ‰}$ ; сумарна змінна продуктивність усіх ортів транспортного горизонту  $Q_{зм} = 2800 \text{ т/зм}$ .

### 11.16. Визначення кількості вагонів у составі

Для рудних шахт розрахунковим є випадок зрушення навантаженого потяга на підйомі при забруднених коліях біля навантажувальних люків, як найбільш важкий та розповсюджений для розглянутих умов.

За формулою (10) при  $\psi = 0,21$  (див. табл. 1);  $w = 5 \text{ Н/кН}$  (див. табл. 2);  $a = 0,05 \text{ м/с}^2$ ;  $w_{зр} = 0,5w_{кр}$ ;  $w_{кр} = 2,5 \text{ Н/кН}$  допустима за зчепленням маса навантаженого потяга

$$m_{н.в} = \frac{1000 \cdot 14 \cdot 0,21}{5 + 2,5 + 108 \cdot 0,05} = 174 \text{ т.}$$

Допустима кількість навантажених вагонів за виразом (19)

$$Z_{в} = \frac{174 - 14}{3,0 + 10} = 12,3.$$

Приймаємо 12 вагонів.

Характеристика потяга:

– маса вантажу в одному вагоні

$$m = 2,5 \cdot 4 = 10 \text{ т;}$$

– дійсна маса порожнього потяга

$$m_{н.н} = 12 \cdot 3,0 + 14 = 50 \text{ т;}$$

– маса навантаженого потяга

$$m_{н.в} = 12 \cdot (3 + 10) + 14 = 170 \text{ т;}$$

– довжина потяга

$$l_n = 5,2 + 12 \cdot 3,82 = 51 \text{ м.}$$

### 11.17. Перевірка маси потяга за гальмуванням

Максимальна гальмова сила за зчепленням, реалізована електровозом при електродинамічному способі гальмування чи гальмуванні колодками за формулою (24)

$$B_{\text{д.з}} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 14 \cdot 0,21 = 28840 \text{ Н.}$$

Питома гальмова сила

$$b = \frac{28840}{170 \cdot 9,81} = 17 \text{ Н/кН.}$$

За виразом (26) час підготовки гальм до дії при  $t_p = 1,4$  с

$$t_n = 1,4 + 1,4 = 2,8 \text{ с.}$$

За формулою (27) допустима початкова швидкість гальмування навантаженого поїзда на спуску 4 ‰ при гальмовому шляху 40 м

$$V_{\text{дон}} = \sqrt{2 \cdot 0,17 \cdot 40 + (0,17 \cdot 2,8)^2} - 0,17 \cdot 2,8 = 3,24 \text{ м/с.}$$

За (28) уповільнення при гальмуванні навантаженого поїзда на спуску

$$a_T = \frac{5 - 4 + 17}{108} = 0,17 \text{ м/с}^2.$$

### 11.18. Перевірка маси потяга за нагріванням тягових двигунів електровоза

За технічною характеристикою електровоза К14 тривалий струм двигуна ЕТ-46 дорівнює 81,6 А.

Ефективний струм при  $\alpha = 1,5$ :

$$I_e = 1,5 \sqrt{\frac{83^2 \cdot 5,5 + 35^2 \cdot 10,5}{63}} = 42,6 \text{ А.}$$

Оскільки умова (29) виконується ( $I_{mp} \geq I_e$ ), нагрівання двигунів знаходиться в межах норми.

Стала сила тяги електровоза, віднесена до одного двигуна:

– при холостому ході (рух порожняком) за формулою (31)

$$F'_x = \frac{9,81 \cdot 50 \cdot (8 + 4)}{2} = 2943 \text{ Н;}$$

– при робочому ході (рух з вантажем) за (32)

$$F'_p = \frac{9,81 \cdot 170 \cdot (5 - 4)}{2} = 843 \text{ Н.}$$

Цим значенням сил тяги відповідають струми та швидкості руху, отримані відповідно до електромеханічних характеристик для двигуна ЕТ-46 із табл. 8.

Таблиця 8

Параметр	Напрямок руху	
	порожняковий	вантажний
Сила тяги, Н	2943	834
Сила струму, А	83	35
Стала швидкість руху, м/с	6	9

Розрахунок тривалості холостого ходу виконуємо вважаючи, що швидкість холостого ходу  $V_x = 21$  км/год (6 м/с). При розрахунку тривалості робочого ходу  $t_{p.x}$  (вантажний напрямом) приймаємо швидкість робочого ходу  $V_{p.x} = 12$  км/год (3,24 м/с); швидкість поїзда, не перевищуючу допустиму по гальмуванню, машиніст зобов'язаний витримувати, застосовуючи відповідні методи регулювання швидкості. Тривалість паузи на кінцевих пунктах транспортування визначаємо, приймаючи тривалість навантаження одного вагона під люками 2 хв, розвантаження його в перекидачі – 0,67 хв (див. табл. 3) і резерв часу на інші затримки  $\Theta_{рез} = 15$  хв.

Таким чином, тривалість пауз за цикл

$$\Theta_y = (2 + 0,67) + 15 = 47 \text{ хв.}$$

Тривалість циклу при  $K_{ш} = 0,8$  за формулою (34):

$$T_p = \frac{1600}{0,8 \cdot 6,0 \cdot 60} + \frac{1600}{0,8 \cdot 3,24 \cdot 60} + 47 = 63 \text{ хв,}$$

у тому числі  $t_p = 5,5$  хв;  $t_{p,p} = 10,5$  хв.

З урахуванням розглянутих обмежувальних факторів приймаємо состав із 12 вагонів ВГ-4.

### 11.19. Визначення кількості електровозів

Можлива за балансом часу кількість рейсів одного електровоза в зміну за формулою (39)

$$r_e = \frac{60 \cdot 6 \cdot 0,8}{63} = 4,6.$$

Приймаємо 4 рейси і по одному пасажирському рейсі на крило, тобто усього  $r_{нас} = 2$ .

Загальна кількість рейсів для забезпечення змінного вантажопотоку гірничої маси з урахуванням пасажирських за виразом (41)

$$r_{01} = \frac{2800 \cdot 1,35}{12 \cdot 10} + 2 = 34 \text{ рейси,}$$

тут прийнятий коефіцієнт нерівномірності вантажопотоку  $K = 1,35$  для проміжних горизонтів рудних шахт.

Кількість рейсових електровозів для всього транспортного горизонту за формулою (42)

$$n_{л.рейс1} = \frac{34}{4} = 8,5.$$

Приймаємо 9 електровозів.

Інвентарна кількість електровозів за виразом (47)

$$n_{инв} = 9 \cdot 1,2 = 11.$$

### 11.20. Основні показники електровозного транспорту

Продуктивність одного рейсового електровоза, розрахована за умовою стовідсоткового вивозу змінного видобутку, за формулою (55)



$$A_{зм.рейс} = \frac{2800 \cdot 1,6}{9} = 498 \text{ т} \cdot \text{км.}$$

Розрахункова місячна продуктивність рейсового електровоза за виразом (56)

$$A_{міс.рейс} = 498 \cdot 3 \cdot 24 = 35856 \text{ т} \cdot \text{км},$$

при тризмінному режимі і 24 робочих днях на місяць.

Розрахована продуктивність рейсового електровоза відповідає кращим досягненням для електровозів такого типу.

Витрати електричної енергії за цикл, віднесені до ведучих колісних пар електровоза, за формулою (51)

$$a_{ц.к.} = 0,278 \cdot 10^{-6} \cdot (2943 + 834) \cdot (1600 + 700) = 2,42 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Витрати енергії за рейс на шинах змінного струму перетворювальної установки за формулою (57)

$$a_{ц.н} = \frac{2,42}{0,5 \cdot 0,95 \cdot 0,9} = 5,6 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Питомі витрати енергії на шинах змінного струму перетворювальної установки, віднесені до 1 т · км нетто, тобто до 1 т · км вантажу, що транспортується, за формулою (59)

$$a_{н.нет} = \frac{5,6}{12 \cdot 10 \cdot 1,6} = 0,029 \text{ кВт} \cdot \text{год} / (\text{т} \cdot \text{км}).$$

Загальні змінні витрати енергії на транспортування за формулою (60)

$$A_{зм.ен.} = 0,029 \cdot (400 \cdot 1,4 + 350 \cdot 1,5 + 370 \cdot 1,5 + 450) \times \\ \times 1,6 + 430 \cdot 1,6 + 300 \cdot 1,7 + 500 \cdot 1,8 = 118,44 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{зм.}$$

### 11.21. Вибір обладнання тягової підстанції

Ефективний струм тягової підстанції за формулою (66)

$$I_{ef} = \frac{9}{1,15} \cdot 163,2 \sqrt{1,5 \cdot 0,25 + \frac{(1 + 1,5 \cdot 0,25)}{9}} = 926 \text{ А},$$

де  $t_x + t_p = 16$  хв – тривалість споживання електровозом струму за час руху у вантажному і порожняковому напрямках;  $T = 63$  хв – тривалість одного рейсу;

$\rho = \frac{16}{63} = 0,25$  – відносна тривалість споживання електровозом струму за час

руху; з огляду на велику питому вагу споживання струму під час перестановок состава на кінцевих пунктах відкатки при розрахунку приймаємо  $\alpha = 1,5$ .

Для живлення контактної мережі приймаємо випрямний агрегат АТПШ-1000/275; номінальні випрямлений струм і напруга – відповідно 100 А та 275 В (Додаток А 7).

## 12. РОЗРАХУНОК ЛОКОМОТИВНОГО ТРАНСПОРТУ ЗА ДОПОМОГОЮ СУЧАСНИХ МАТЕМАТИЧНИХ ПАКЕТІВ ТА МОВ ПРОГРАМУВАННЯ

Сучасні математичні пакети та мови програмування надають користувачам персональних комп'ютерів (студентам, інженерам, проектувальникам та вченим) безліч можливостей для рішення складних, громіздких та багатоваріантних розрахункових задач.

Отримавши базові знання з програмування у ВНЗ чи на курсах підвищення кваліфікації, практично кожен може створити програму, яка буде виконувати розрахунки витрат коштів протягом року за споживання електроенергії або в залежності від значення  $X$  розраховувати рівняння з одним невідомим

$$X = 10, \text{ тоді}$$

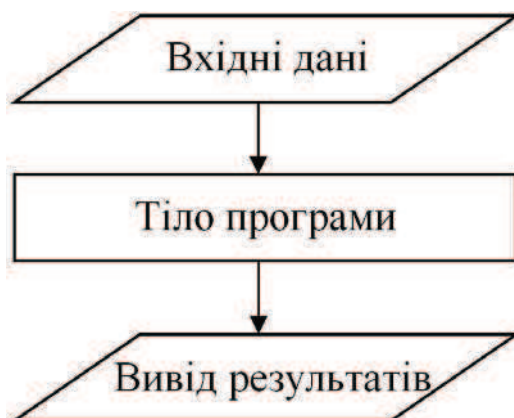
$$5 + X = 15,$$

або, взагалі, виконувати розрахунок виходу космічного корабля на орбіту.

Наявність сучасних видань з програмування в книжкових магазинах, бібліотеках ВНЗ всіх рівнів акредитації та бібліотеках міст дозволяє користувачам ПК самостійно вивчити будь-яку мову програмування.

Початком кожної програми виступає блок-схема (схема програми).

Приклад схеми програми (ГОСТ19.701-90(ИСО5807-85))



Відповідно до блок-схеми (стор. 52) колективом авторів навчального посібника була створена програма тягового розрахунку електровозної відкатки на мові Borland Delphi 7.

Враховуючи громіздкість програми, в навчальному посібнику наведено її першу частину, яка за допомогою діалогового вікна дозволяє ввести необхідні дані та отримати розрахункову кількість вагонів в составі.

У залежності від кількості маршрутів, довжини шляху, ухилу та інших параметрів програма, у ході розрахунку, пропонує прийняти користувачу той чи інший тип локомотива, вагона або декілька варіантів цього обладнання.

Отримані результати дозволяють вибрати оптимальні параметри допоміжного чи основного транспортування локомотивами та можуть бути застосовані в розрахункових роботах студентів, курсових та дипломних проектах, на виробництві тощо.

Слід відзначити, що основною метою розрахунку локомотивного транспорту є визначення кількості одиниць рухомого складу, що потім дає змогу визначення ефективності роботи його (продуктивності, затрат енергії) та вибору обладнання для забезпечення цих показників призначення. Мета досягається виконанням тягового розрахунку.

Схема програми тягового розрахунку має три блоки: визначення кількості одиниць рухомого складу состава (вагонів, секцій) для прийнятого типу локомотива за умовами зчеплення ходових коліс локомотива з рейками, потужності тягових двигунів електровоза та величиною гальмових зусиль локомотива.

Кількість одиниць рухомого складу за зчепленням локомотива визначається аналітично через допустиму масу потяга (10), що в схемі програми позначається символами  $m_n = m(\psi)$ ,  $z_1 = z(\psi)$ .

Методика тягового розрахунку не дає змоги визначити масу потяга за умовами потужності тягових двигунів електровоза та гальмових зусиль локомотива (за виключенням одного випадку, який ми використовуємо). Тому в схемі програми виконуємо перевірку  $z_1$  за умовою нагрівання тягових двигунів електровоза струмами навантаження, що пропорційні за електромеханічною характеристикою двигуна силам тяги. Для цього використовуємо обчислювальний цикл:

$$\begin{aligned} z_2 &= z_1, \\ z_2 &= z_2 - 1, \end{aligned}$$

операції перевірки (31), (32), (33), (34), (30), (29).

При цьому для порівняння використовується еквівалентний та номінальний струми навантаження двигуна.

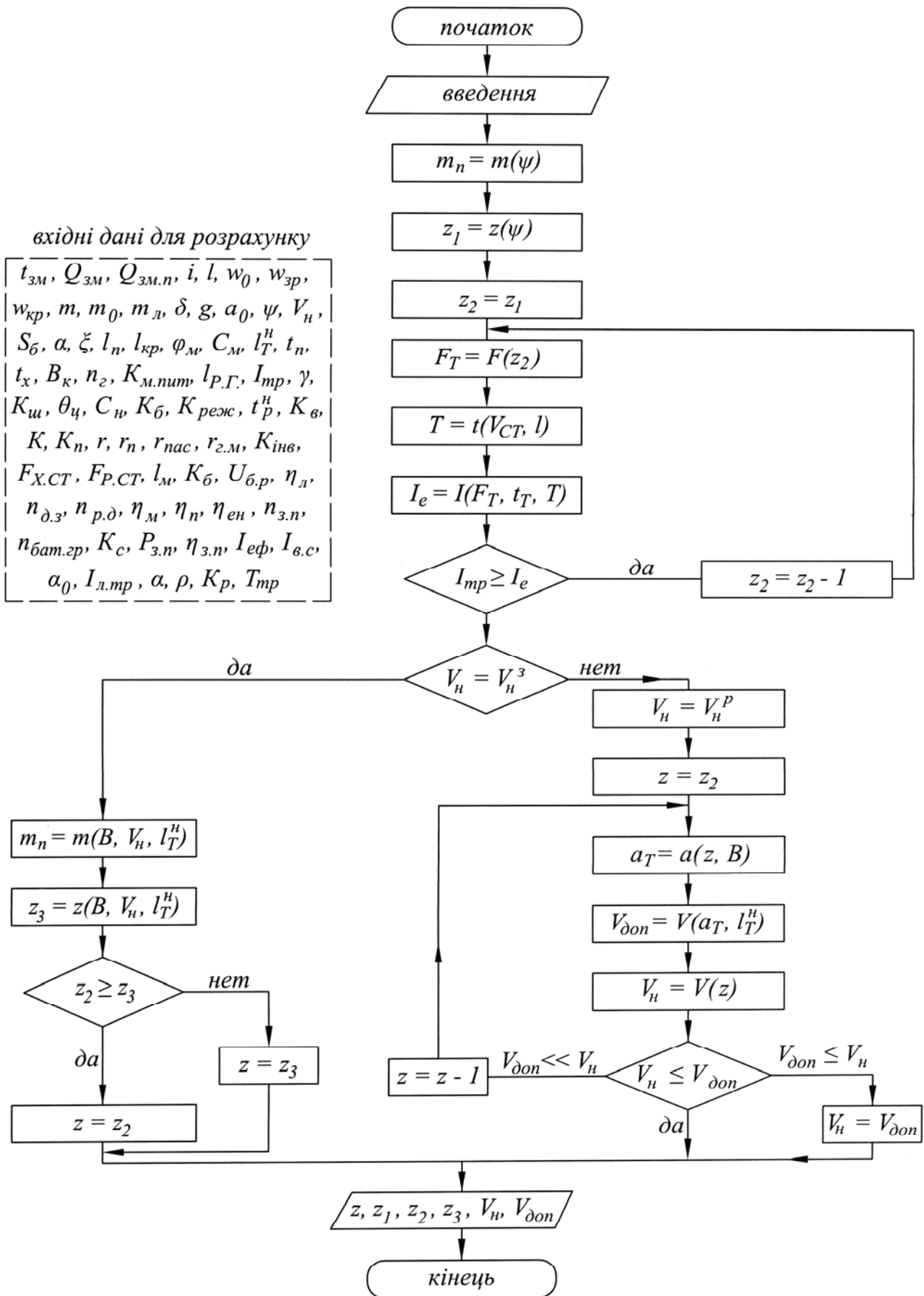
Для гірвозів та дизелевозів обмеження маси потяга за потужністю тягових двигунів конструктивно виключено.

Аналогічно організована перевірка  $z$  за гальмуванням потяга. При цьому для порівняння вираховуються швидкості руху потяга: початку гальмування  $V_n$  для прийнятої раніш маси потяга та допустима  $V_{don}$  за нормативною величиною гальмового шляху. У даному блоці схеми може бути альтернативний алгоритм, якщо в завданні задана стала швидкість руху  $V_n$ , наприклад, за вимогами безпеки руху дорожніми знаками. У цьому випадку з'являється можливість розрахувати масу потяга за умовою гальмування та кількість одиниць рухомого складу состава однозначно.

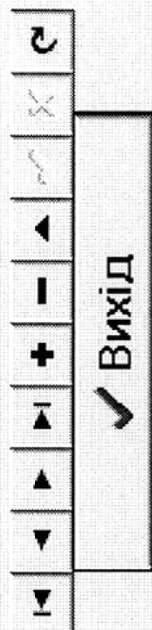
Складаючи блок-схему програми (стор. 52), ми виходили з того, що перевірку маси потяга за гальмуванням треба виконувати останньою. Це дозволяє дістати допустиму швидкість руху для остаточно прийнятої маси потяга.

Робочі вікна програми “Розрахунок транспорту з акумуляторними електровозами на вугільній шахті” на мові Borland Delphi 7 за прикладом 1, наведено на стор. 53 та 54.

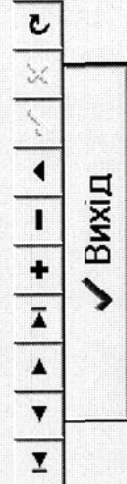
## 12.1. Блок-схема програми розрахунку електровозної відкатки



Тип електровозу	Зчіпна маса, т	Ширина колії, мм	Потужність, кВт	Швидкість електровозу, м/г	Сила тяги, кН	Тип (аккумуляторна батарея)
4,5АРП2М	4,5	600	2х7,0	6,66	7	66ТЖН-300
5АРВ2М	5	600	2х7,0	6,66	7	66ТЖН250П
АРП7	7	600	2х10	7,5	8,8	90ТНЖШ550
АРВ7	7	600	2х10	7,5	8,8	88ТНЖ400
АМВД	8	600	2х12,0	6	12	96ТЖН500
2АМВД	16	600	4х14,2	7,2	24	2х112ТЖН500
АРП10	10	600	2х13,0			
АРП14	14	900	2х23,5			
АРП28	28	900	4х26,0			
Г6	6	900				



Тип вагона	Місткість, м3	Колія, мм	Жорстка база, мм	Маса тари, кг
ВГ-1,0	1	600	500	520
ВГ-1,2	1	600	550	580
ВГ-1,3	1,3	600	550	640
ВГ-1,4	1,4	600	650	680
ВГ-1,6	1,6	600	800	720
ВГ-2,5	2,5	900	800	1150
ВГ-3,3	3,3	900	1100	1280
ВД-1,4	1,4	600	1200	830
ВД-2,2	2,2	900	1300	1270
ВД-3,3	3,3	900	1100	1880
ВД-5,6	5,6	900	1500	2535
ВДК1,5	1,5	600	1200	820
ВДК2,5	2,5	900	1650	1360
ВГ-0,7	0,7	750	500	550
ВГ-1,2	1,2	750	600	810
ВГ-2,2	2,2	750	1000	1450
ВГ-4,0	4	750	1250	3000
ВГ-8,0	9	750	1100	6000
ПС1,5	1,5	600	1050	800
ПС3,5	3,5	900	2200	1400



## 12.2. База даних параметрів рухомого складу

### 12.3. Робоче вікно програми для розрахунку кількості рухомого складу в составі\*

Програма розрахунку локомотивного транспорту

File База даних

Тип вагона

Тип вагона	Місткість	Колія, мм	Жорстка база, мм	Маса тари, кг
ВДК2.5	2.5	900	1650	1360

Тип електровозу

Тип електровозу	Зчіпна маса, т	Ширина колії, мм	Потужність, кВт	Швидкість електровозу, м/г	Сила тяги, кН	Тип (аккумуляторна батарея)
2АМ8Д	16	600	4x14.2	7.2	24	2X112ТЖН500

Кількість маршрутів

Маршрути						
Ухил середній	4	5	3	3	3	5
Ухил керівний	8	14	5	5	5	12
Довжина	1.45	1.25	0.3	0.4	0.5	1.75

Вхідні дані

Основний питомий опір руху	11	Коеф., що враховує перевезення в составі матеріалів	0.1	Коеф. зчіплення локомотива	0.09
Додатковий питомий опір від кривої	10	Прискорення вільного падіння	9.8	Коеф., що враховує завантаження вагонів	1
Додатковий питомий опір при зрушенні	0	Розрахункове прискорення при зрушенні	0.04	Коеф., що враховує вплив стану поверхні рейок	0.45
Маса вапняку вагона	2.34				

Вихідні дані

Кількість вагонів Z= 25

Розрахувати

Вихід

\* В програмі використано приклад 1 ‘Розрахунок транспорту з аккумуляторними електровозами на вугільній шахті’ (стор. 36).

## ДОДАТКИ

### А Довідкові матеріали (таблиці)

**1. Технічна характеристика шахтних контактних електровозів**

Технічні параметри	7 КР	К10	К14
Годинна потужність тягових електродвигунів, кВт	31 × 2	31 × 2	45 × 2
Тип електродвигуна	ЕДР-25П	ЕТ-31	ЕТ-46
Годинна швидкість, км/год	12,2	12,2	12,8
Годинна сила тяги, Н	11800	16600	23500
Ширина колії, мм	600, 750, 900	600, 750, 900	750, 900
Тверда база, мм	1200	1200	1800
Габаритні розміри, мм: довжина по осях зчіпок	4500 ± 50	4920 ± 50	5600 ± 50
колія, мм	$\frac{600}{1050}$ $\frac{750, 900}{1350}$	$\frac{600}{1050}$ $\frac{750, 900}{1350}$	$\frac{750, 900}{1650}$
ширина електровоза	1500	1650	1650
висота			
Маса, т	7	10	14

## 2. Технічна характеристика шахтних акумуляторних електровозів

Тип електровоза	Зчіпна маса, т	Ширина колії, мм	Часовий режим при номінальній напрузі			Акумуляторна батарея			Тяговий двигун			Конструктивна швидкість, км/год	Мінімальний радіус вписування, м	Жорстка база, мм	Гальмова сила рейкових електромашин, кН
			Потужність, кВт	Швидкість електровоза, м/год	Сила тяги, кН	Тип	Енергоємність, кВт/год	Напруга, В	Тип	Струм часовий, А	Струм тривалий, А				
4,5АРП2М	4,5	600	2×7,0	6,66	7,0	66ТЖН-300	24,75	82,5	ЕДР7П	105	45	13,3	7,0	900	-
5АРВ2М	5,0	600	2×7,0	6,66	7,0	66ТЖН250П	20,6	82,5	ЕДР7П	105	45	13,3	7,0	950	-
АРП7	7,0	600, 900	2×10	7,5 8,5	8,8	90ТНЖШ550 102ТНЖШ 550	58,4 66,0	106 120	ДПРТ10	116	48	12,0	6,0	1200	-
АРВ7	7,0	600, 900	2×10	7,5	8,8	88ТНК400	41,2	103	ДРТ10	116	50	12,0	6,0	1200	-
АМ8Д	8,0	600, 900	2×12,0 2×14,2	6,0 7,2	12,0	96ТЖН500 112ТЖН500	60,0 70,0	120 140	ДПТР12	125	50	12,0 13,0	8,0	1200	-
2АМ8Д	16,0	600, 900	4×14,2	7,2	24,0	2×112ТЖН500	140	140	ДПТР12	125	50	13,6	8,0	1200	-
АРП10	10,0	600, 900	2×13,0	7,2	12,5	112ТНЖШ550	64,5	130	ЕТ-16	122	60	20,0	8,0	1400	70
АРП14	14,0	900	2×23,5	9,0	18,8	161ТНКШ550	104	185	ЕТ23,5	150	60	18,0	15,0	1655	100
АРП28	28,0	900	4×26,0	10,5	34,9	2×182ТНЖК650	274	210	ЕТ26	144	58	20,0	15,0	1655	-
Г6 (гірвооз)	6,0	900		6,8	11,6				1К30МФ			6,7		900	-



### 3. Технічна характеристика шахтних вантажних вагонів і секційних поїздів

Тип вагона	Місткість, м <sup>3</sup>	Вантажопідйомність, кг	Коля, мм	Габаритні розміри, мм			Жорстка база, мм	Маса тари, кг
				довжина	ширина	висота		
Вагони вугільні								
УВГ-1,0 ВГ-1,0	1,0	1800	600	1500	850	1300	500	520
УВГ-1,2 ВГ-1,2	1,0	2200	600	1800	850	1300	550	580
УВГ-1,3 ВГ-1,3	1,3	2300	600	2000	850	1300	550	640
УВГ-1,4 ВГ-1,4	1,4	2500	600	2400	850	1230	650	680
УВГ-1,6 ВГ-1,6	1,6	2900	600	2700	850	1200	800	720
ВГ-2,5	2,5	4400	900	2800	1240	1300	800	1150
ВГ-3,3	3,3	5900	900	3450	1320	1300	1100	1280
ВД-1,4	1,4	2500	600	2400	900	1300	1200	830
ВД-2,2	2,2	3000	900	2975	1240	1300	1300	1270
ВД-3,3	3,3	5900	900	3575	1350	1550	1100	1880
ВД-5,6	5,6	10000	900	4900	1350	1550	1500	2535
ВДК1,5	1,5	2,7	600	2400	950	1450	1200	820
ВДК2,5	2,5	4,5	900	2900	1240	1500	1650	1360
Вагони рудні								
ВГ-0,7	0,7	2100	750	1250	850	1220	500	550
ВГ-1,2	1,2	3600	750	1850	1000	1300	600	810
ВГ-2,2	2,2	6600	750	2950	1200	1300	1000	1450
ВГ-4,0	4,0	12000	750	3820	1320	1550	1250	3000
ВГ-8,0	9,0	27000	750	7700	1350	1550	1100	6000
Секційні поїзди								
ПС1,5 (1 секція)	1,5	1800	600	2000	950	1450	1050	800
ПС3,5 (1 секція)	3,5	1200	900	3130	1350	1600	2200	1400

#### 4. Технічна характеристика вагонів для перевезення людей

Тип вагонетки	Параметри								
	Кут нахилу виробки, град	Число посадкових місць	Коля, мм	Тягове зусилля зчіпки, кН	Жорстка база, мм	Основні розміри, мм			Маса, кг
						довжина (без урахування зчіпки)	ширина	висота від голівки рейки	
ВПГ-12	горизонтальна	12	600	60	1500	4550	1030	1530	1640
ВПГ-18		18	900	60	1500	4550	1325	1530	1650
ППС-600 (1 секція)		8	600		1500	2800	1050	1530	1000
ППС-900 (1 секція)		12	900		1500	2800	1350	1530	1100
ВЛШ-10Г	6-30	10	600	85	3300	5330	1075	1510	2140
ВЛН1-10П	6-30	10	600	70	3300	5330	1075	1510	2110
ВЛШ-15Г	6-30	15	900	85	3300	5330	1400	1510	2470
ВЛН1-15П	6-30	15	900	70	3300	5330	1400	1510	2440
ВЛН2-10Г	6-50	10	600	85	3300	5225	1075	1510	2280
ВЛН2-10П	6-50	10	600	70	3300	5225	1075	1510	2280
ВЛН2-15Г	6-50	15	900	85	3300	5225	1400	1510	2530
ВЛН2-15П	6-50	15	900	70	3300	5225	1400	1510	2530
ВЛН3-6Г	40-80	6	600	50	3000	4620	1070	1200	1870
ВЛН3-6П	40-80	6	600	25	3000	4620	1070	1200	1875

#### 5. Технічна характеристика тягових акумуляторних батарей

Батарея	Номінальна ємність, А · год	Енергоємність, кВт · год	Напруга батареї, В			Електровоз
			кінцева при заряді	середня	кінцева	
				при п'ятигодинному розряді		
66 ТНЖШ-300	300	24,5	120	80	65	4,5 АРП-2М
66 ТНЖШ-350	350	27,0	120	80	65	5 АРВ-2М
96 ТНЖШ-500	500	56,0	173	115	94	АМ8Д-600
112 ТНЖШ-500	500	67,0	202	135	110	АМ8Д-900
112 ТНЖШ-550	550	72,0	202	135	110	АРП10
154 ТНЖШ-550	550	100	278	135	151	АРП14
154 ТНЖШ-600	650	110,0	278	185	151	АРП14

## 6. Типи локомотивів у залежності від категорії шахти

Категорія шахти по пилу та метану	Виробки зі свіжим струменем повітря		Виробки з вихідним струменем повітря	Тупикові виробки
	магістральні	дільничні		
Негазові та безпечні по пилу	К10, 10КР	7КР	7КР	7КР
	К14, 14КР	10КР	10КР	10КР
	К14М, КТ14	К10	К10	К10
	КТ28			
Небезпечні по пилу або I и II категорії по газу	К10, 10КР	7КР	АРП7	АРП7
	К14, 14КР	10КР	8АРП3	4,5АРП2
	К14М, КТ14	К10	4,5АРП2	8АРП3
	КТ28	4,5АРП2	АРП10	АРП10
	8АРП3	8АРП3	АРП14	АМ8-2
	АРП10, АРП14	АРП10	АМ8-2	АМ8Д
	АРП28	АМ8-2	АМ8Д	
	АМ8-2, АМ8Д	АМ8Д	2АМ8Д	
	2АМ8Д			
В14				
III категорії по газу або надкатегорні	8АРП3	АРП7	АРП7*	АРП7*
	АРП10	4,5АРП2	4,5 АПР2*	4,5АРП2*
	АРП14	8АРП3	8АРП3*	8АРП3*
	АРП28	АРП10	АРП10*	АРП10*
	АМ8-2	АМ8-2	АРП14*	АМ8Д*
	АМ8Д	АМ8Д	АМ8-2*	5АРВ
	2АМ8Д		АМ8Д*	АРВ7
	В14		2АМ8Д*	Г6
			5АРВ, АРВ7	
Небезпечні по раптовим викидам і суфлярним виділенням газу	8АРП3**	АРП-7**	5АРВ	5АРВ
	АРП10**	4,5АРП2**	АРВ7	АРВ7
	АРП14**	8АРП3**	Д7	Г6
	АМ8-2**	АРП10**	Г6	
	АМ8Д**	АМ8**		
	2АМ8Д**	АМ8Д**		
	5АРВ, АРВ7	5АРВ, АРВ7		
	Д7	Д7, Г6		

Примітка:

\* – для використання необхідний дозвіл головного інженера виробничого об'єднання;

\*\* – за умови підходу до очисних вибоїв на відстань не ближче 1000 м.

7. Технічна характеристика тягових підстанцій з напівпровідниковими випрямлячами

Параметр	АТП-500/275М	АТШ-500/600	АТП-500/275М-У5 АТП-500/600М1-У5	АТПШ-500/275 АТПШ-1000/275	ВУР-500-1000
Виконання	РН	РН	РН	РП	Загально-промислове
Номінальна випрямлена напруга, В	275	600	275 600	275	280-340
Номінальний випрямлений струм, А	500	500	500	500 и 1000	1000
Тип вентилів	В-200	Т-150	В-200	Т-150	В-200
Кількість вентилів	12	36	12	24	24
Габаритні розміри, мм: шафи випрямляча	1135×740×2010	1456×830×1967	1100×800×2200	2085×1035×1000	1900×920×720
шафи дистанційного управління	380×730×1415	380×250×585	380×215×585	-	-
шафи постійного струму	785×730×1415	850×730×1415	-	-	-
Маса, кг: шафи випрямляча	402	543	600	520	300
шафи дистанційного управління	25,7	26	25	-	-
шафи постійного струму	198	187	-	-	-

## 8. Технічна характеристика зарядних підстанцій з напівпровідниковими випрямлячами

Параметр	ЗУК-155/23Ш	ЗУК-75/120М
Виконання	РП	РП
Номинальний випрямлений струм, А	155	75
Номинальна випрямлена напруга, В	230	120
Напруга живильної мережі, В	(380/660)±10%	(380/660)±10%
ККД, %	93	86
Коефіцієнт потужності	0,82...0,88	0,82...0,88
Типи зарядних батарей	80 ТНЖ-350 96 ТНЖ-350 112 ТНЖШ-500 126 ТНЖШ-500 126 ТНЖШ-550	66 ТНЖ-300 36 ТНЖ-300
Маса, кг	550	250
Габаритні розміри, мм	730×710×1662	620×675×1135

## 9. Характеристика вантажів, що транспортуються

Матеріал	Кускуватість, мм	Насипна щільність, т/м <sup>3</sup>
Антрацит: рядовий сортований дрібний	250-0	0,9-1,0
	20-0	0,8-0,9
	10-0	0,75-0,86
Вапняк	40-0	1,4-1,5
	3-0	1,3
Сланець	50-0	1,4-1,6
Вугілля буре рядове	250-0	0,65-0,75
Вугілля кам'яне: рядове крупне дрібне	150-0	0,7-0,9
	250-0	0,8-1,0
	3-0	0,6-0,8
Вугільний пил	1-0	1,0-1,3

### 10. Характеристика рухомих одиниць состава

Тип рухомої одиниці состава	Місткість, $\mu$ , м <sup>3</sup>	Маса (без вантажу), $q_0$ , т	Основний питомий опір руху, $w$ , Н/кН
ВГ1,0	1,0	0,525	24
ВГ1,1	1,1	0,59	24
ВГ1,3	1,3	0,625	24
ВГ1,4	1,4	0,66	24
ВГ1,6	1,6	0,69	24
ВГ2,5	2,5	1,13	9
ВГ3,3	3,3	1,26	13
1ПСМ3,0	3,0	1,483	10
1ПСМ3,5	3,5	1,575	10
30 ПСМ3,0	3,0	1,05	15
30 ПСМ3,5	3,5	1,43	15
ВДК2,5	2,5	1,442	10
ПС3,5	3,5	1,43	15

### 11. Технічна характеристика тягових електродвигунів шахтних електровозів

Електродвигун	Виконання по вибухозахисту	Потужність, кВт	Номинальна напруга, В	Струм, А	ККД, %	Маса, кг	Електровоз
ЕДР-7П	РВ	6	80	93	78	200	4,5АРП-2М
ДПТР-10	РВ	10	100	100	-	225	АРП7, АРВ 7
ДПТР-12	РВ	12	130	113	82	420	АМ8Д, 2АМ8Д
ЕТ-16	РВ	16	140	135	-	400	АРП 10
ЕТ-23,5	РВ	23,5	185	147	-	415	АРП 24, В14
ЕДР-25П	РН	25	250	113	85	460	7КР14, 10КР2
ЕТ-31	РН	31	250	145	-	550	К10
ЕТ-46	РН	45	250	204	90,2	550	К14

## Б Тягові характеристики локомотива та електромеханічні характеристики двигунів

При визначенні сил, діючих на поїзд в режимі тяги, користуються залежністю дотичної сили тяги локомотива від швидкості руху  $F_{\partial} = f(v)$ . Таку залежність називають тяговою характеристикою локомотива

Якщо тягову характеристику локомотива сумістити з навантажувальними, якими є характеристики опору рухові поїзда  $W_{\partial 1}$  по важкому профілю колії та  $W_{\partial 2}$  – по легкому, то точки 1, 2 будуть відповідати сталим режимам руху поїзда.

При цьому

$$F_{\partial 1} v_1 = F_{\partial 2} v_2 = \text{const.}$$

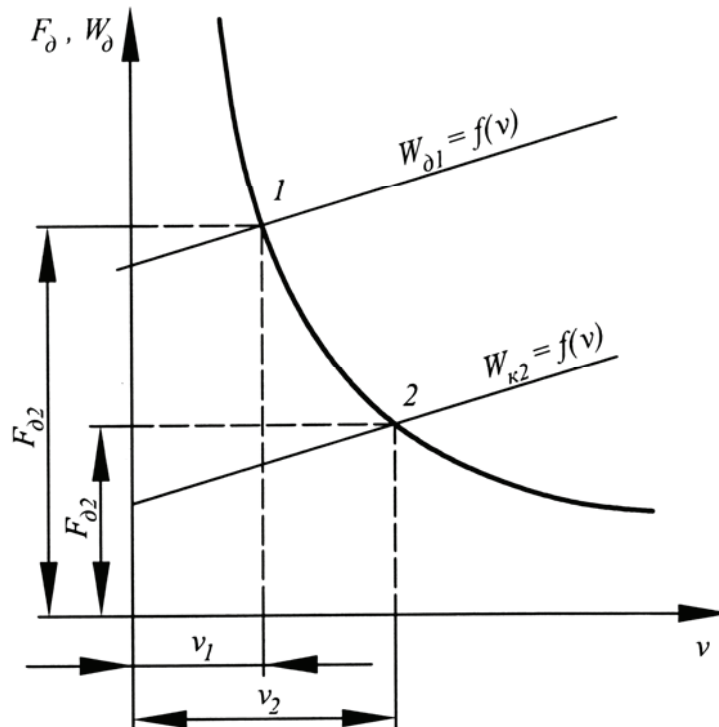
Ідеальною тяговою характеристикою є гіперболічна залежність, при якій потужність тягового двигуна при всіх режимах навантаження

$$F_{\partial} v = \text{const.}$$

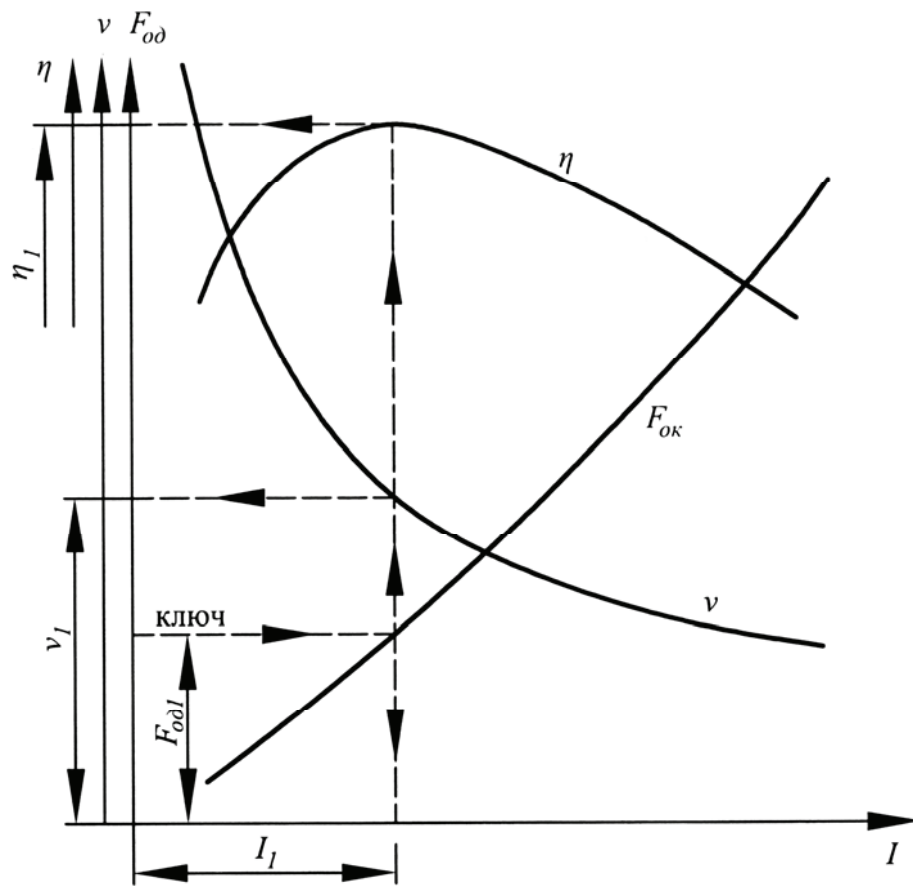
Для електровозів постійного струму швидкості руху залежить від напруги на затискачах двигуна, яка не залежить від струму навантаження, тому їх тягову характеристику будують по електромеханічних характеристиках двигуна. Залежність  $v(I)$  називають швидкісною характеристикою,  $F_k(I)$  – електротяговою. Номінальним режимом роботи двигунів шахтних електровозів є годинний, при якому допустима температура нагрівання обмоток досягається за одну годину роботи. При цьому

$$\eta = \eta_{\text{max.}}$$

a)



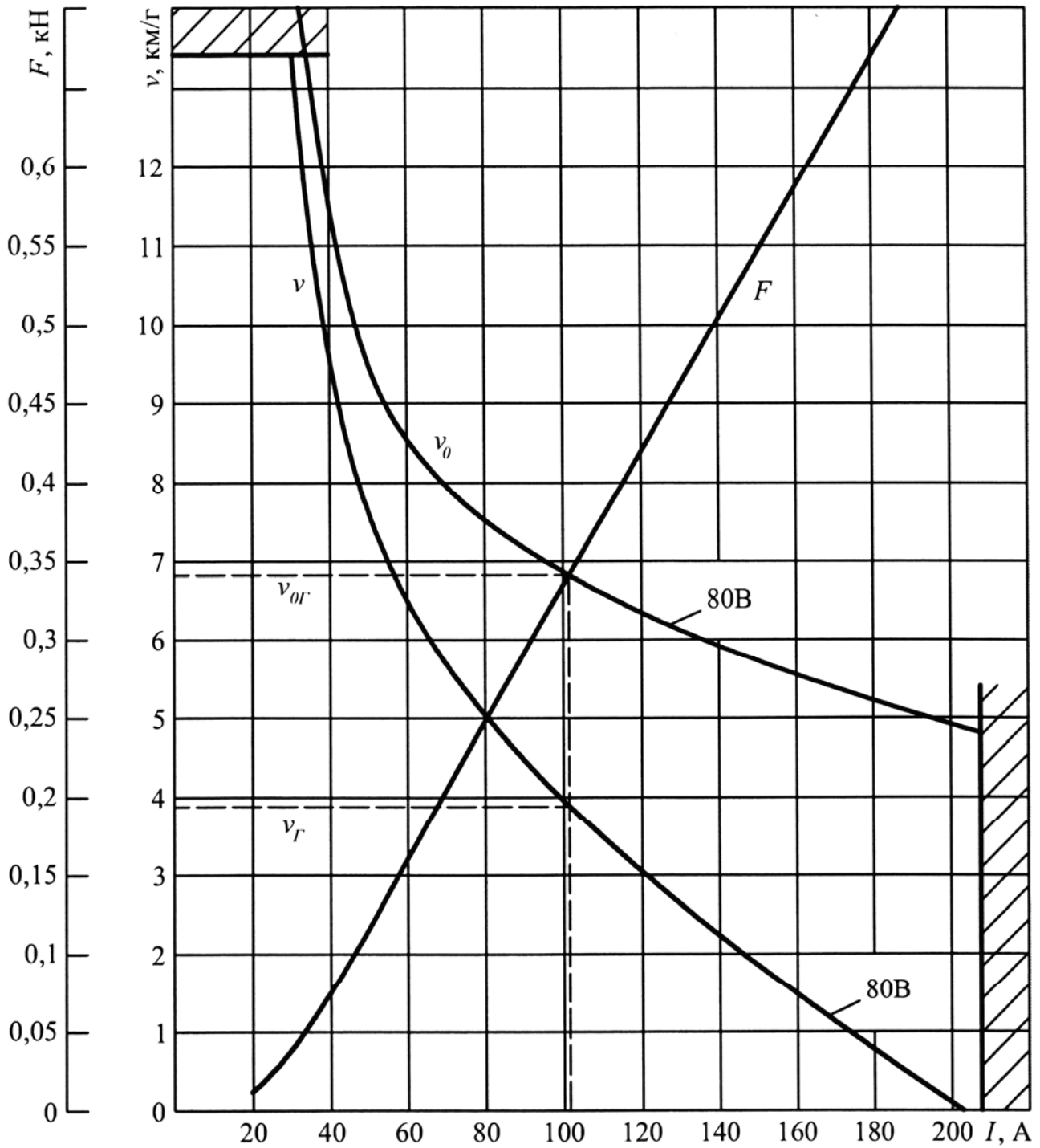
б)



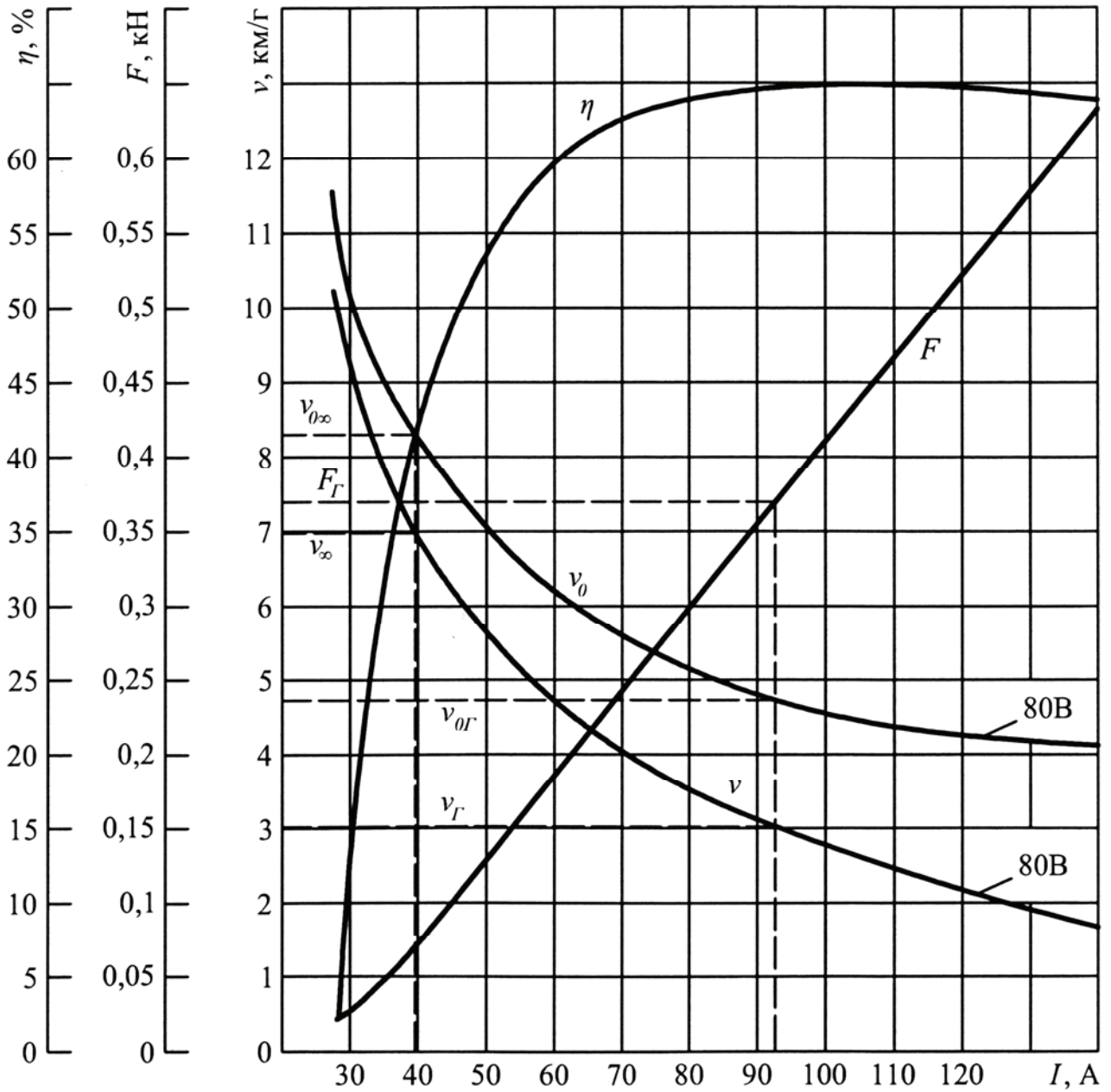
Тягова (а) характеристика локомотива та електромеханічні характеристики двигуна (б), зведені до ободу колеса ведучої осі;  $F_{o.k}$  – сила тяги осі;  $v$  – швидкість на ободі колеса;  $\eta$  – ККД приводу;  $I$  – сила струму двигуна



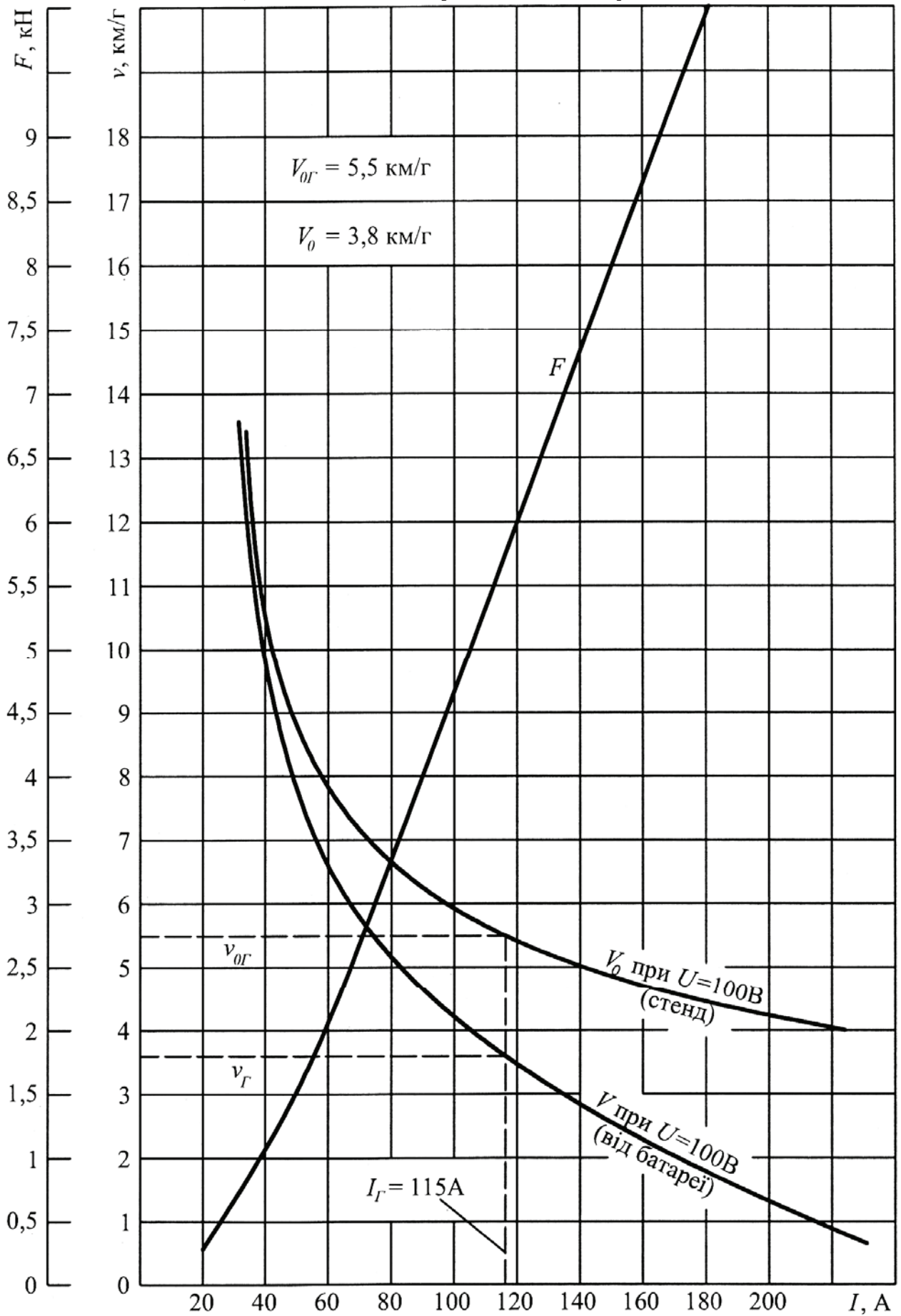
**1. Електромеханічна характеристика тягового двигуна ЕДР-7П з батареєю 66ТЖН-250 і 66ТЖН-300, зведена до ободу колеса електровоза 5АРВ (4,5АРП2М)**



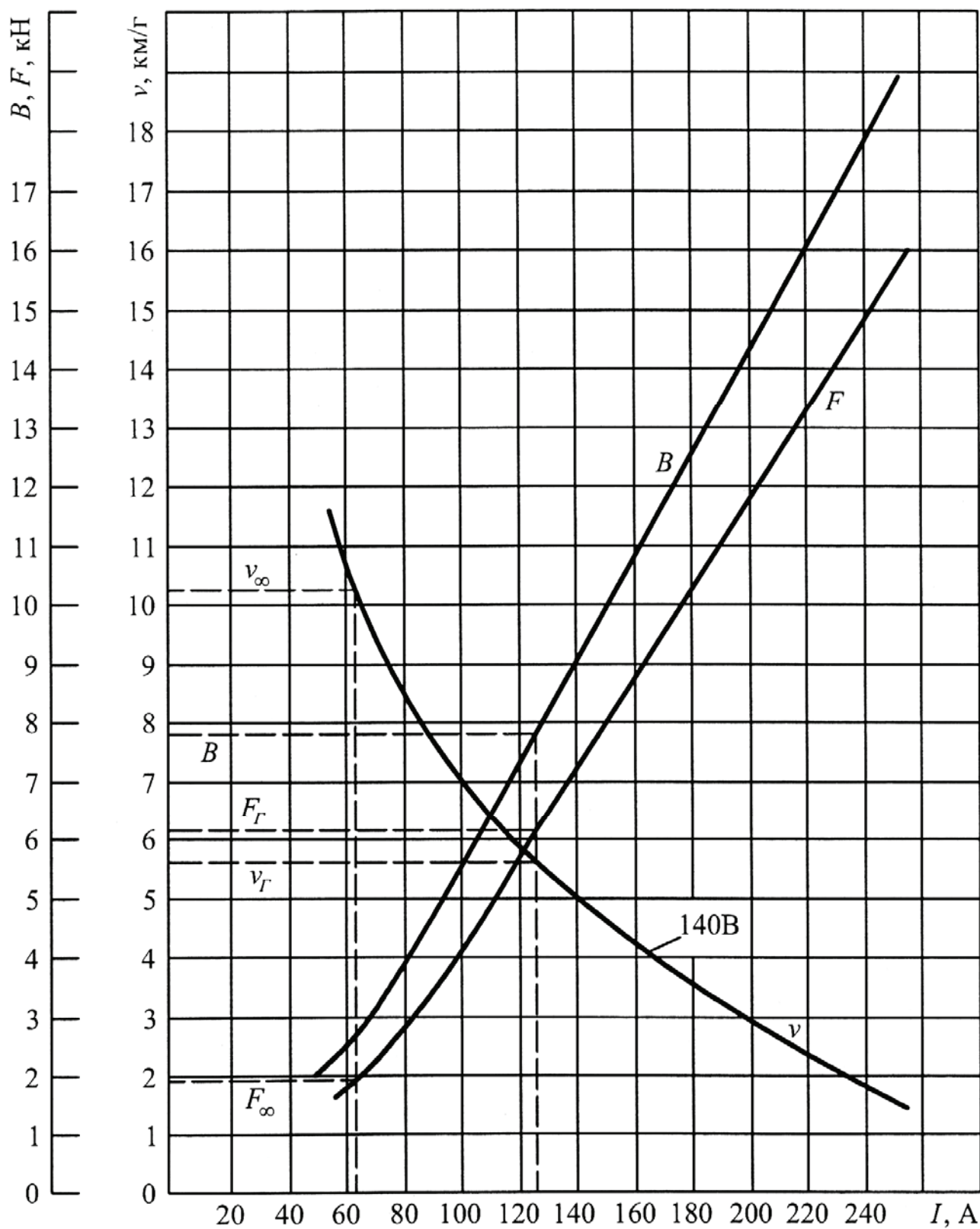
**2. Електромеханічна характеристика тягового двигуна ЕДР-6 з батареєю 66ТЖН-250 і 66ТЖН-300, зведена до ободу колеса електровоза 5АРВ-1 (4,5АРП2)**



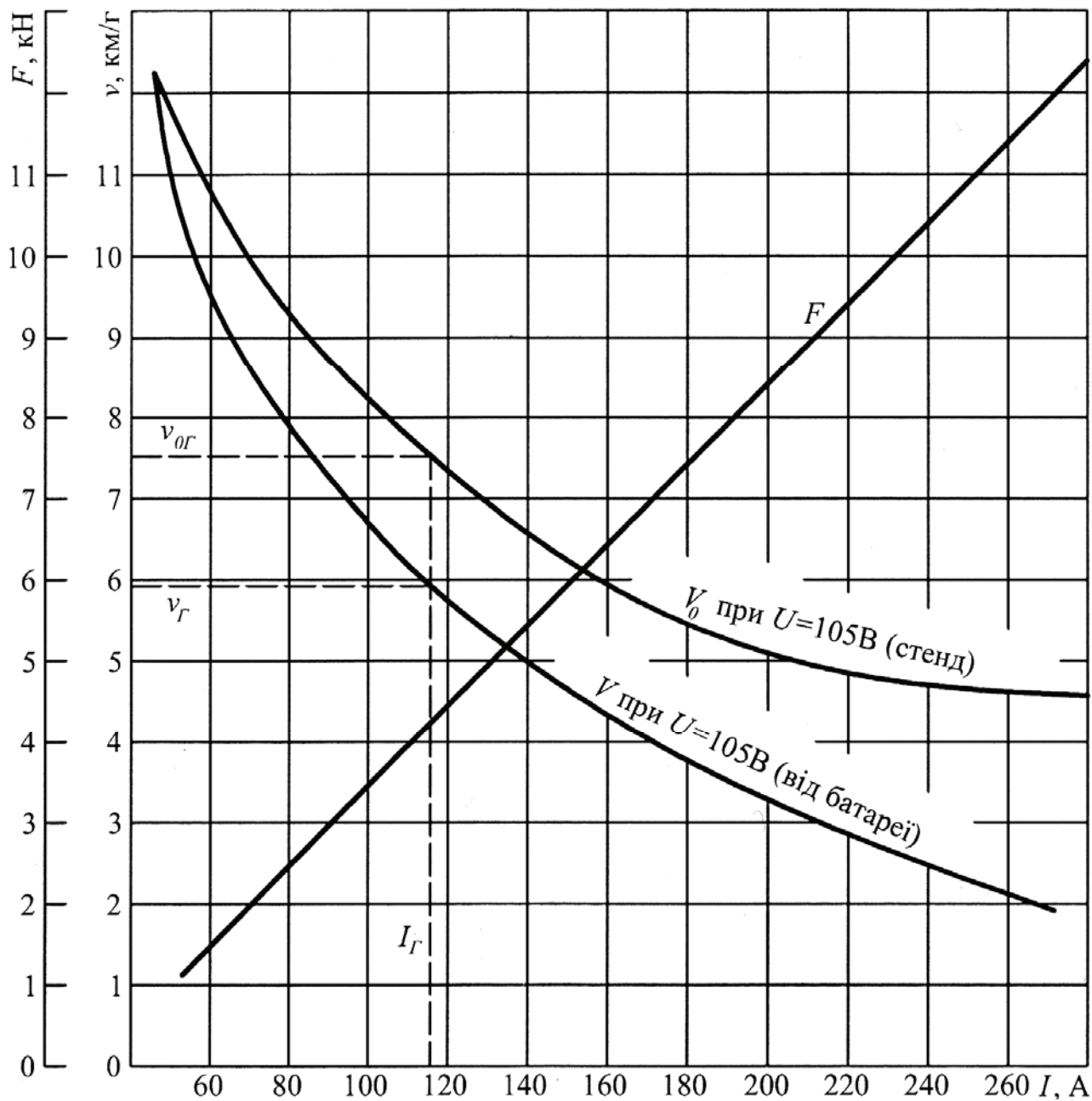
**3. Електромеханічна характеристика тягового двигуна ЕДР-10Б з батареєю 80ТЖН-350, зведена до ободу колеса електровоза 8АРП-1**



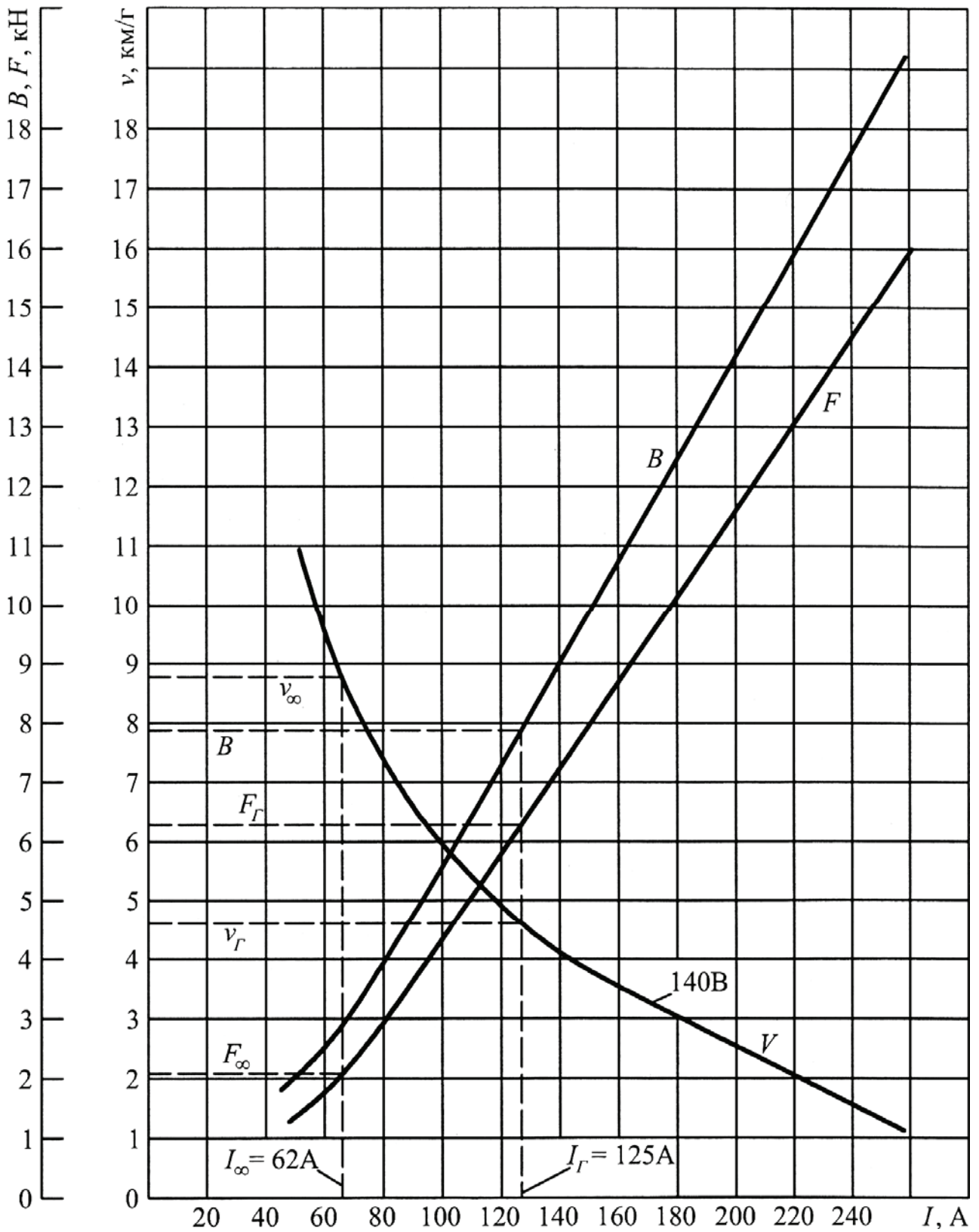
**4. Електромеханічна характеристика тягового двигуна ДПТР-12 з батареєю 112ТНЖШ-550, зведена до ободу колеса електровоза АРП10 з тиристорною системою керування**



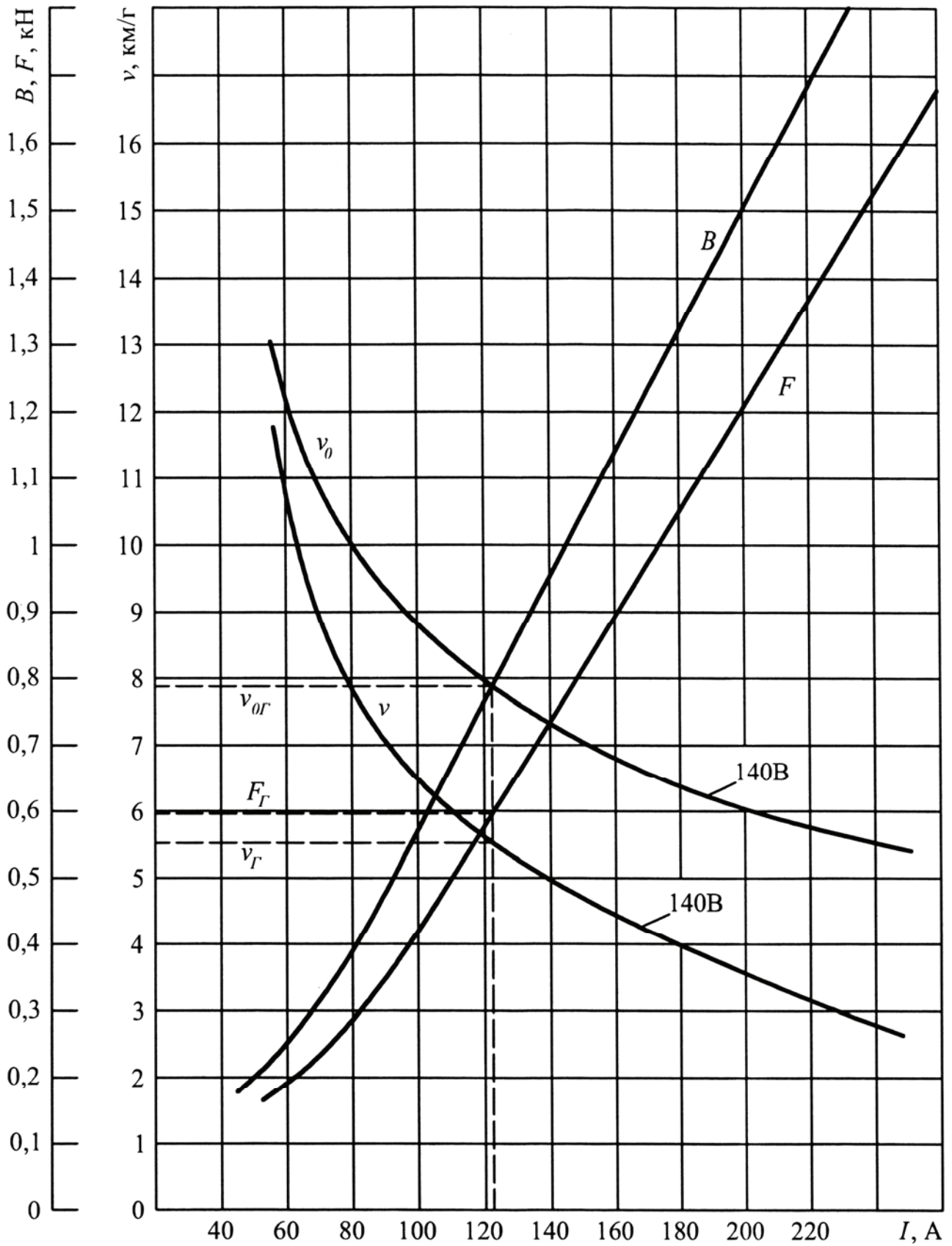
**5. Електромеханічна характеристика тягового двигуна ДРТ-10 з батареєю 90ТНЖШ-350 (88ТНК-400), зведена до ободу колеса електровоза АРП7-600 (АРВ7-600)**



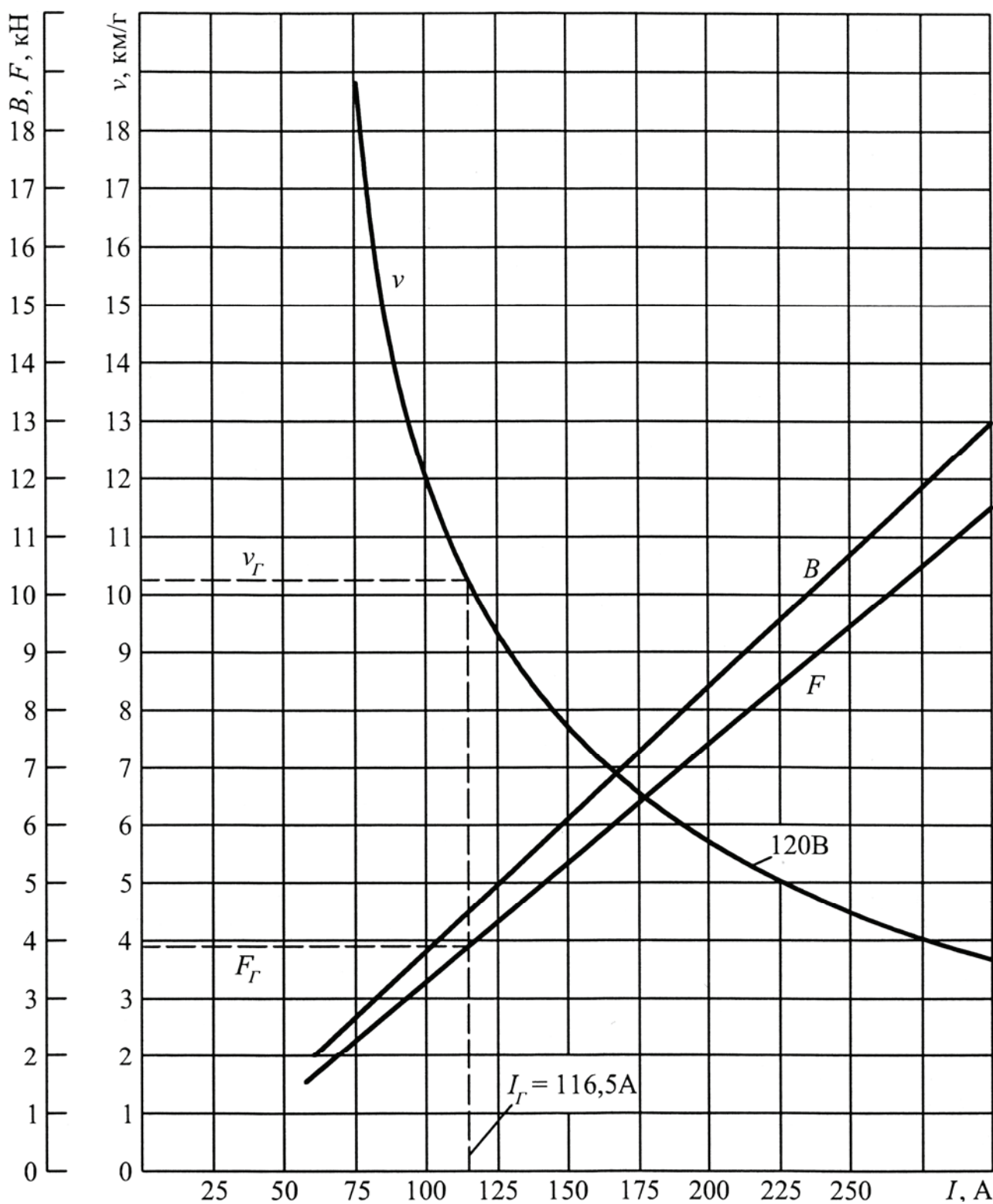
**6. Електромеханічна характеристика тягового двигуна ДПТР-12 з батареєю 96ТЖН-350, зведена до ободу колеса електровоза АМ-8Д**



7. Електромеханічна характеристика тягового двигуна ДПТР-12 з батареєю 112ТЖН-350, зведена до ободу колеса електровоза АМ-8Д

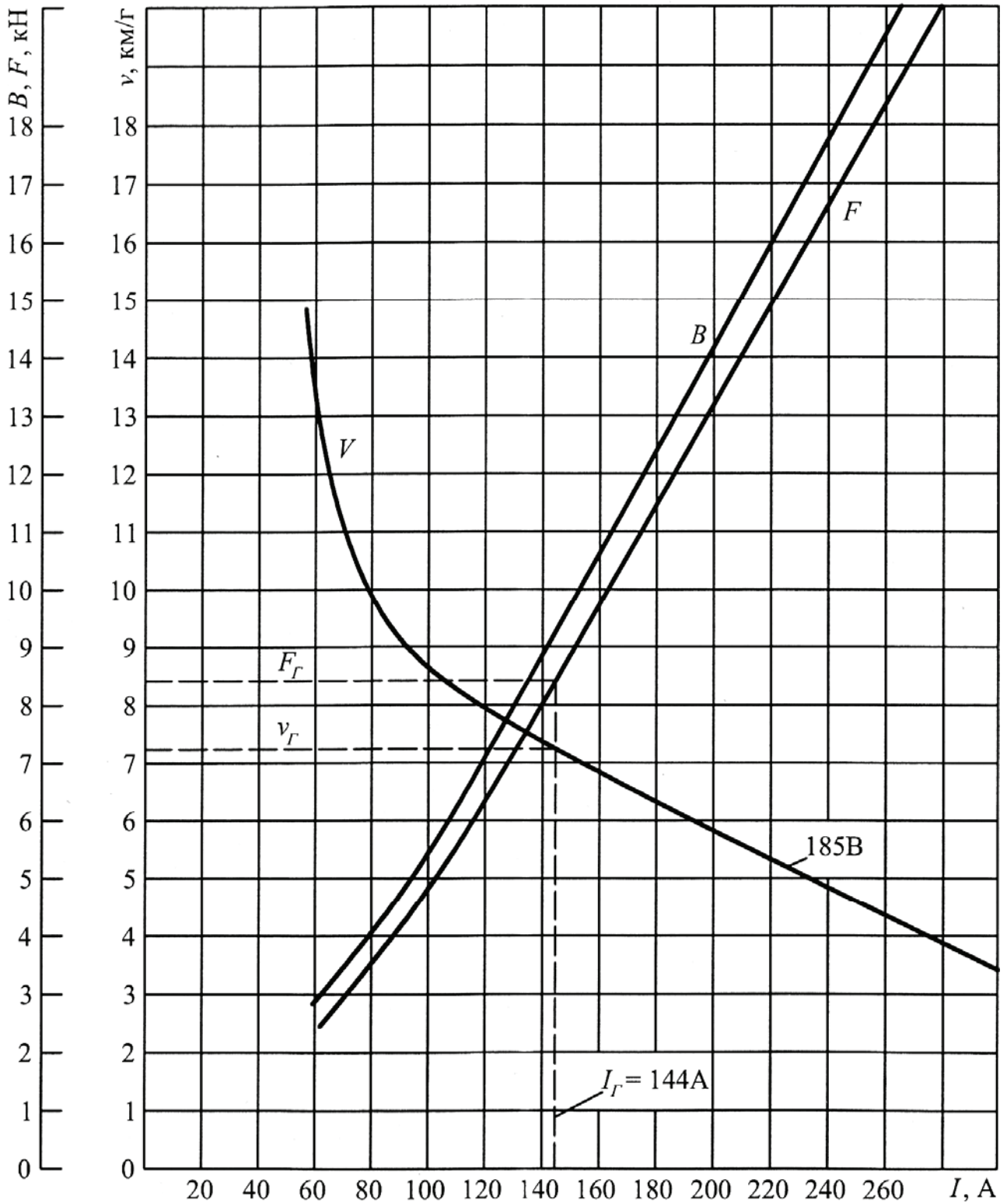


**8. Електромеханічна характеристика тягового двигуна ДРТ-10 з батареєю 102ТНЖШ-550, зведена до ободу колеса електровоза АРП7-900**

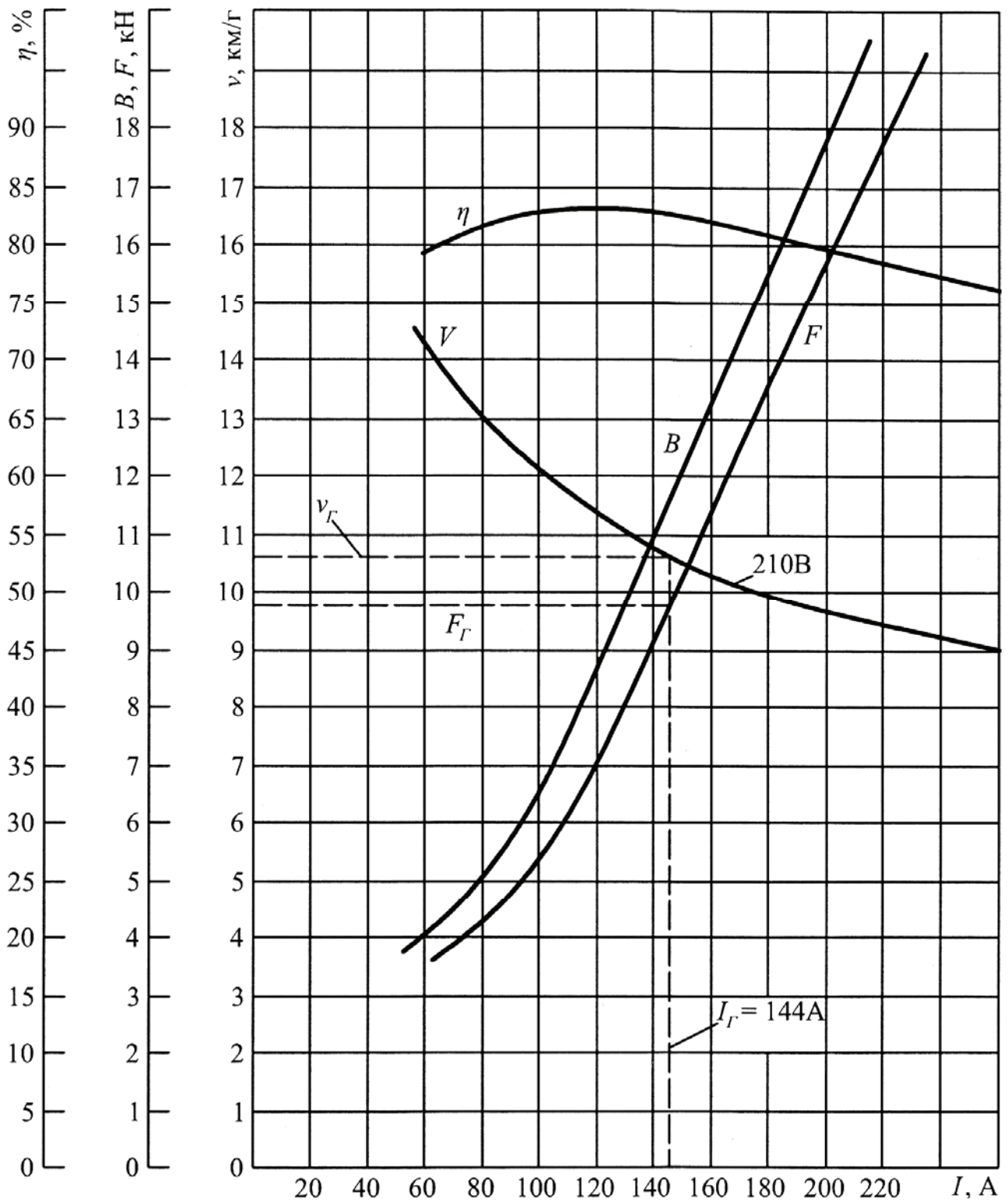




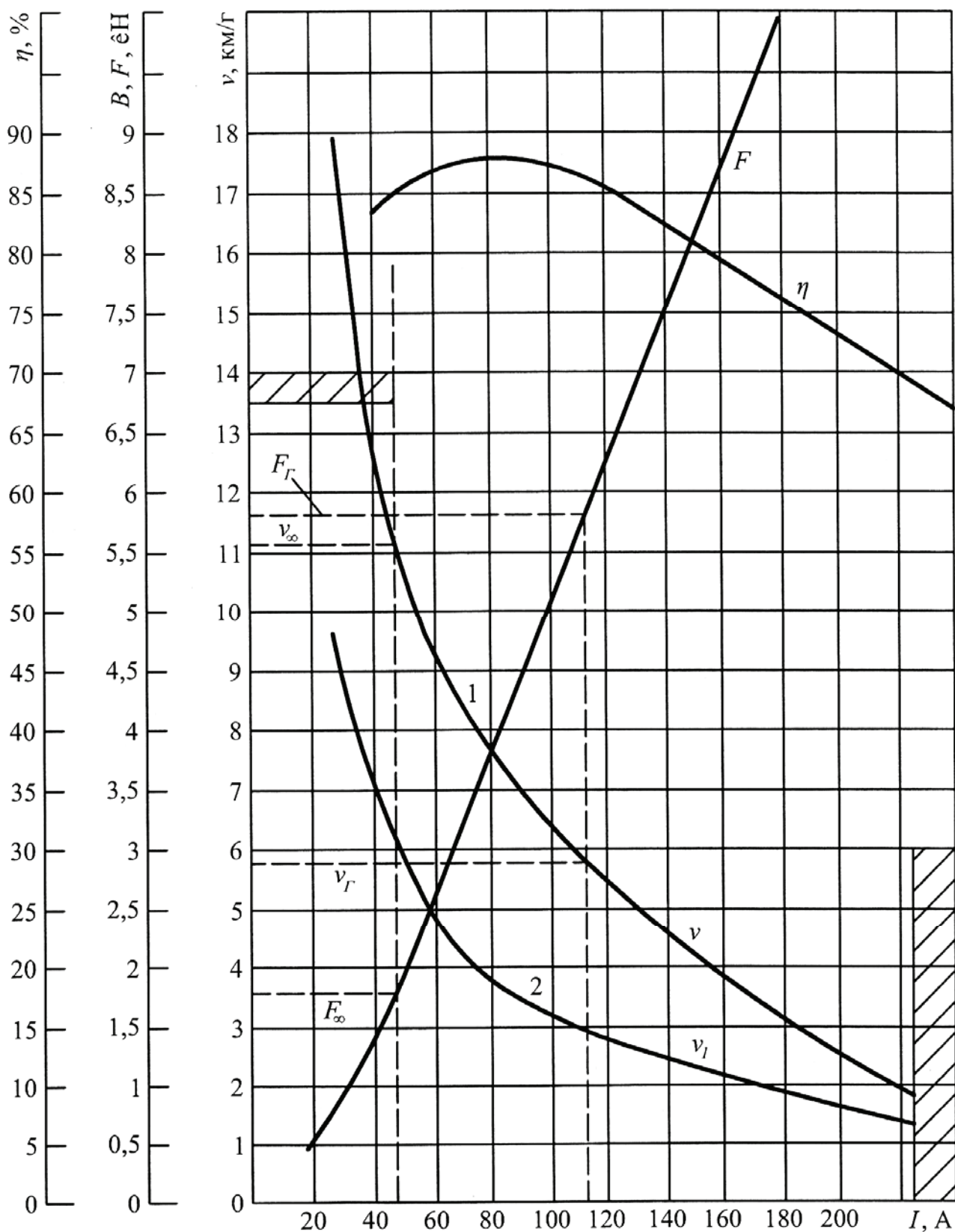
**9. Електромеханічна характеристика тягового двигуна ЕТ-23,5 з батареєю 161ТНЖК-650, зведена до ободу колеса електровоза АРП14**



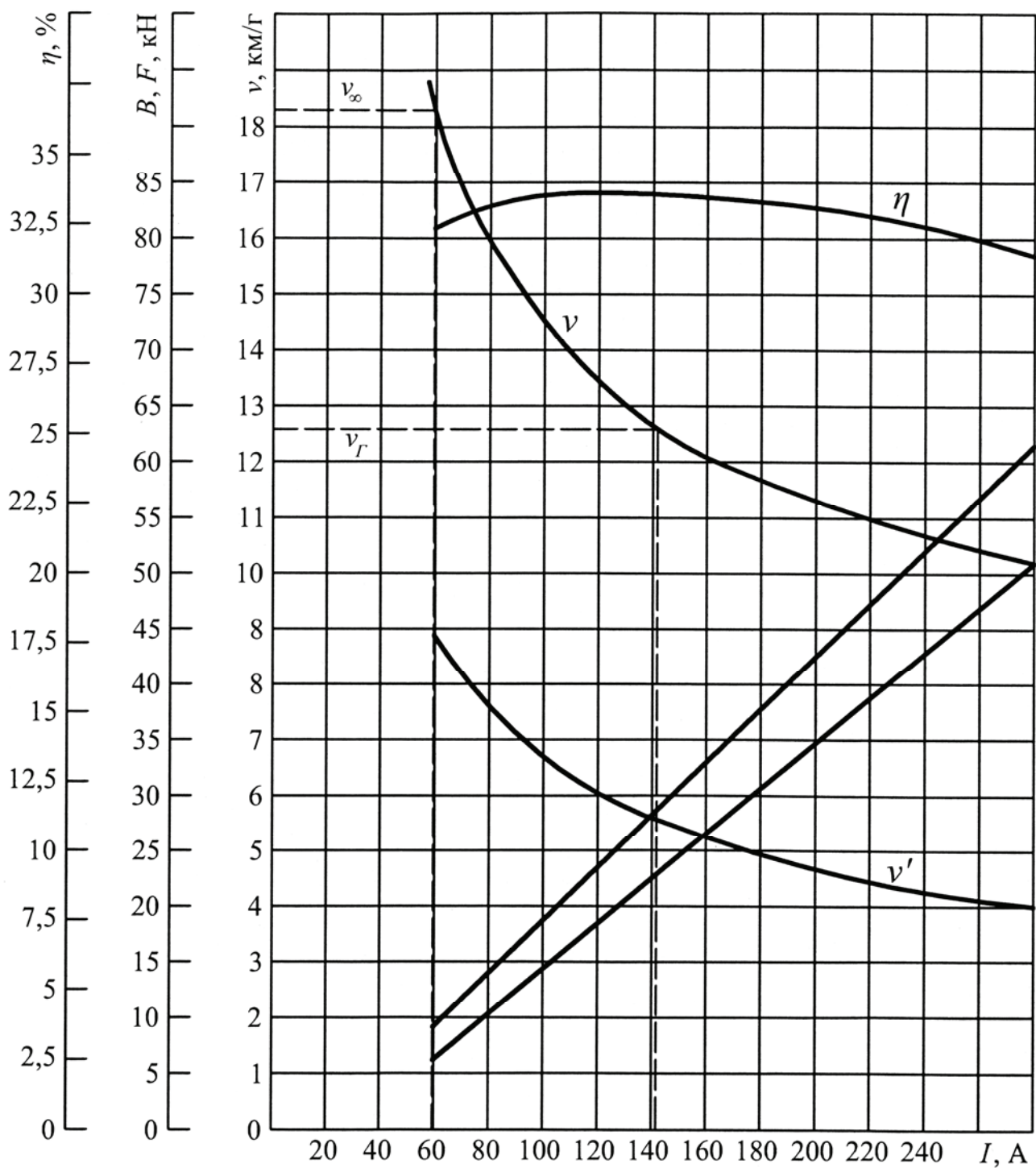
**10. Електромеханічна характеристика тягового двигуна ЕТ-26 з батареєю 182ТНЖК-650, зведена до ободу колеса електровоза АРП28**



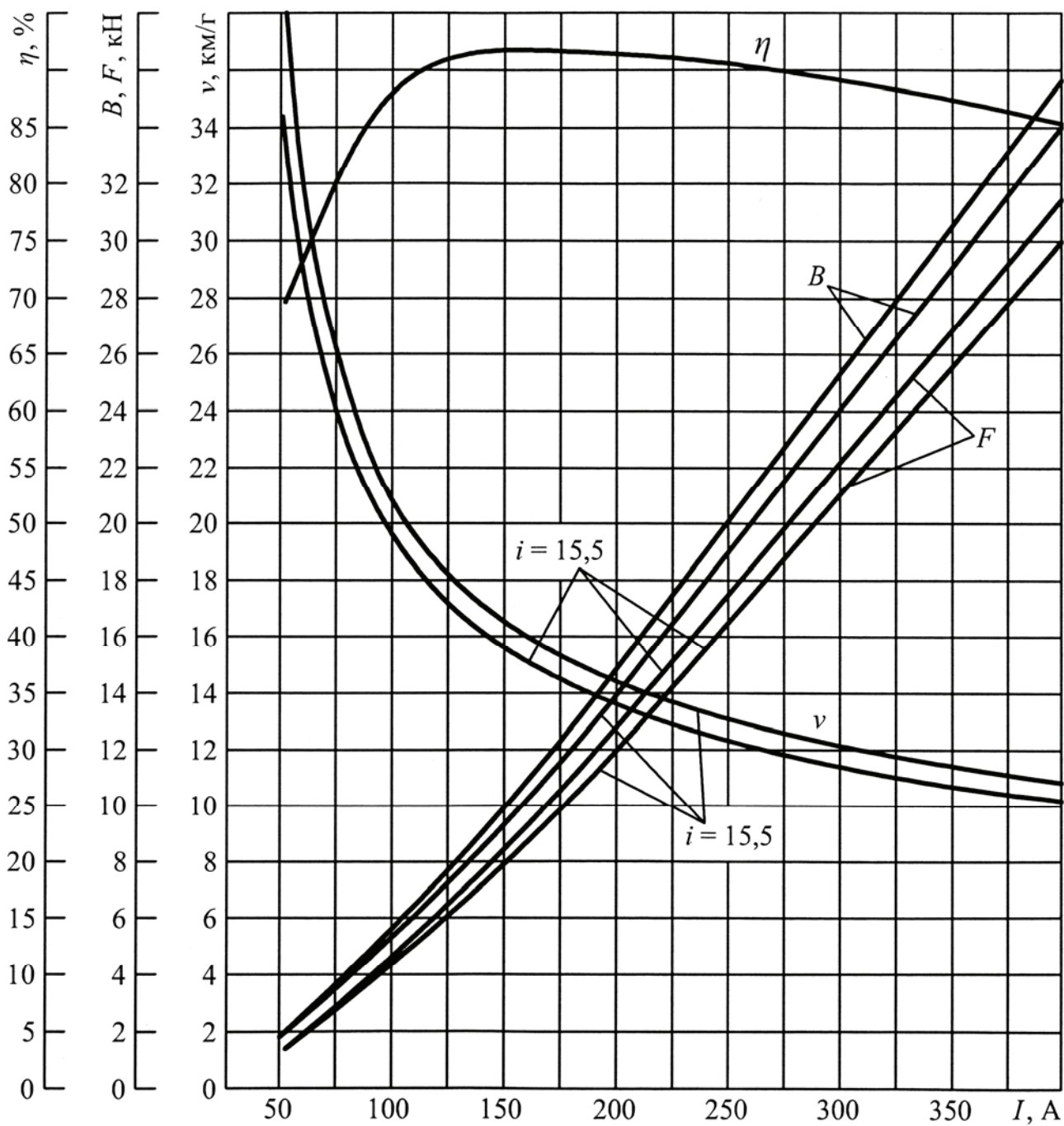
**11. Електромеханічна характеристика тягового двигуна ДПТР-12 з батареєю 112ТЖН-350, зведена до ободу колеса електровоза АМ8-2**



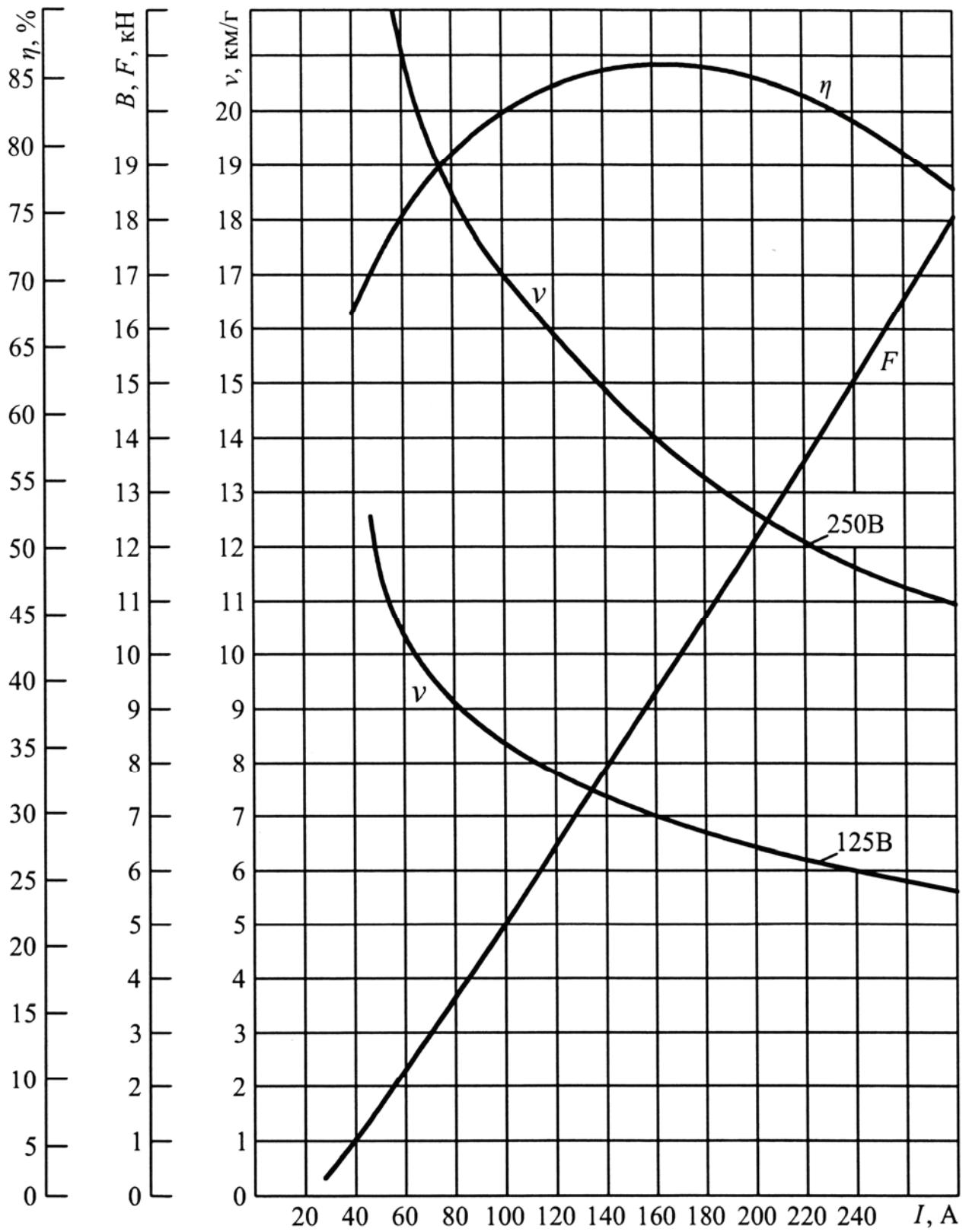
## 12. Електромеханічна характеристика тягового двигуна ЕТ-31, зведена до ободу колеса електровоза К-10



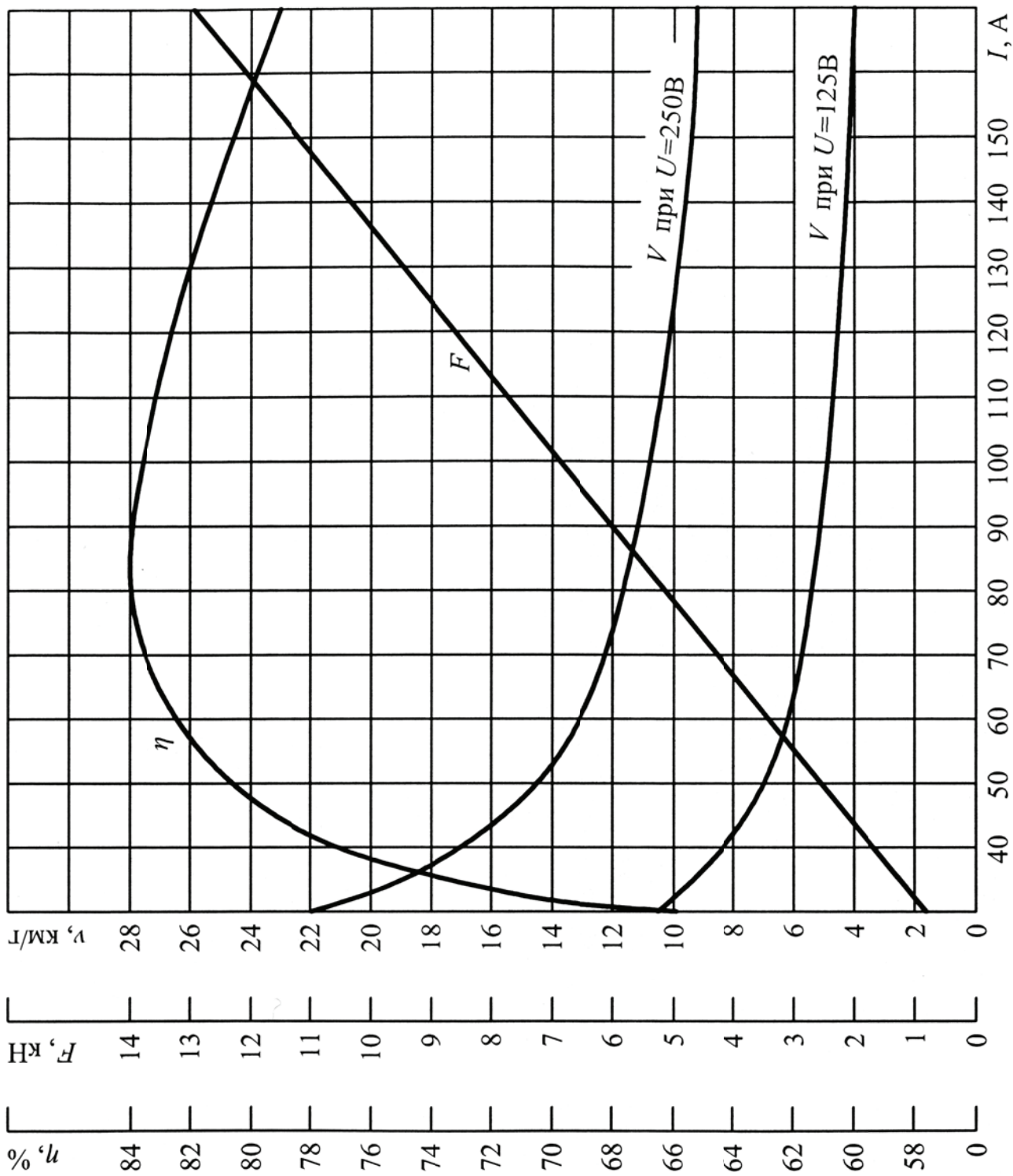
13. Електромеханічна характеристика тягового двигуна ЕТ-46 (ЕТ-47), зведена до ободу колеса електровоза К-14 та 14КР-2А



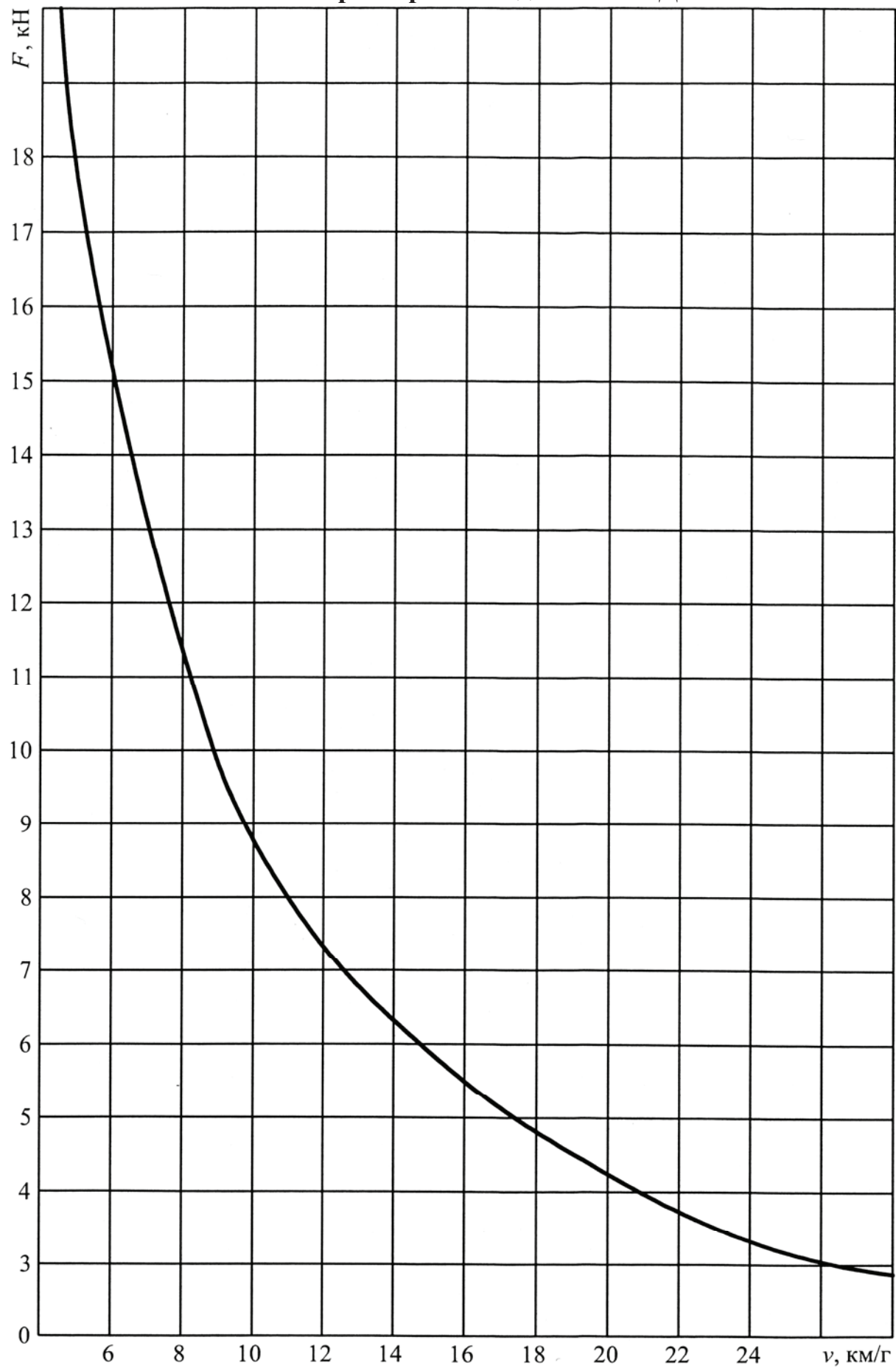
14. Електромеханічна характеристика тягового двигуна ДК-809А, зведена до ободу колеса електровоза 14КР-1 і 14КР-2



15. Електроμηχανічна характеристика тягового двигуна ЕДР-25Б, зведена до ободу колеса електровоза 7КР, 10КР1, 10КР-2

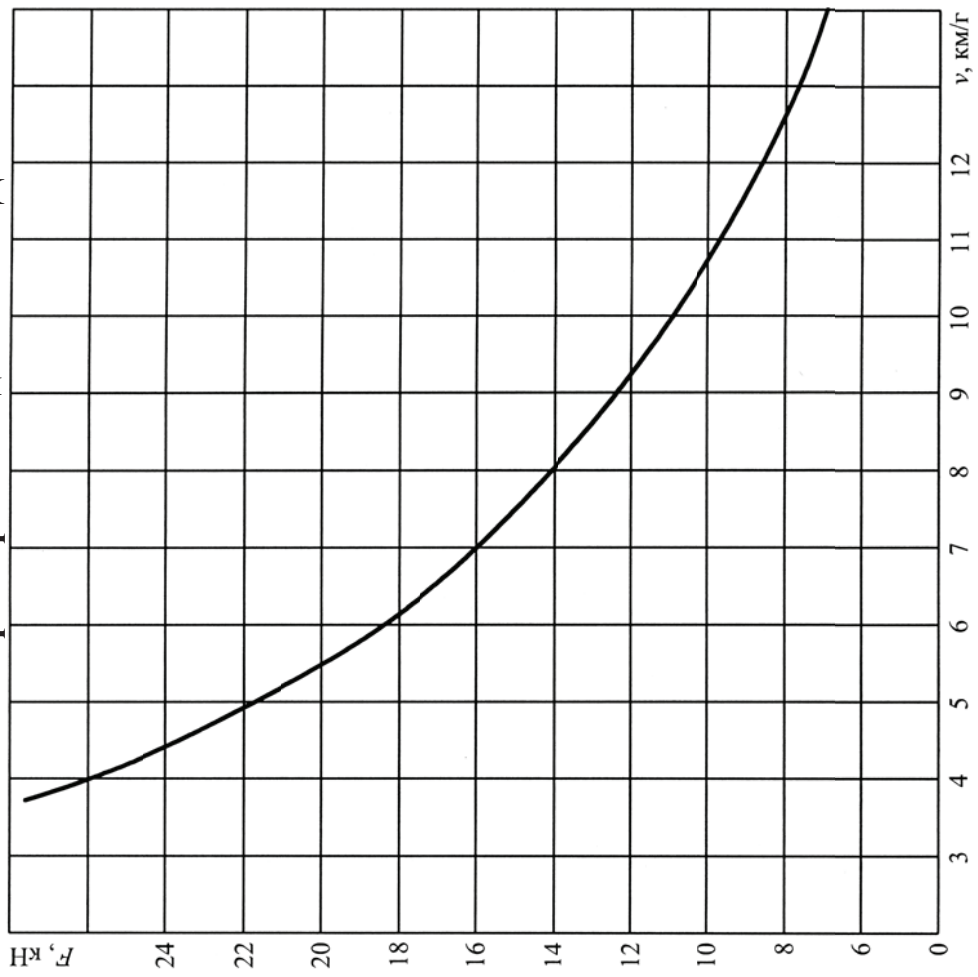


### 16. Тяговая характеристика дизельвоза ДМ40

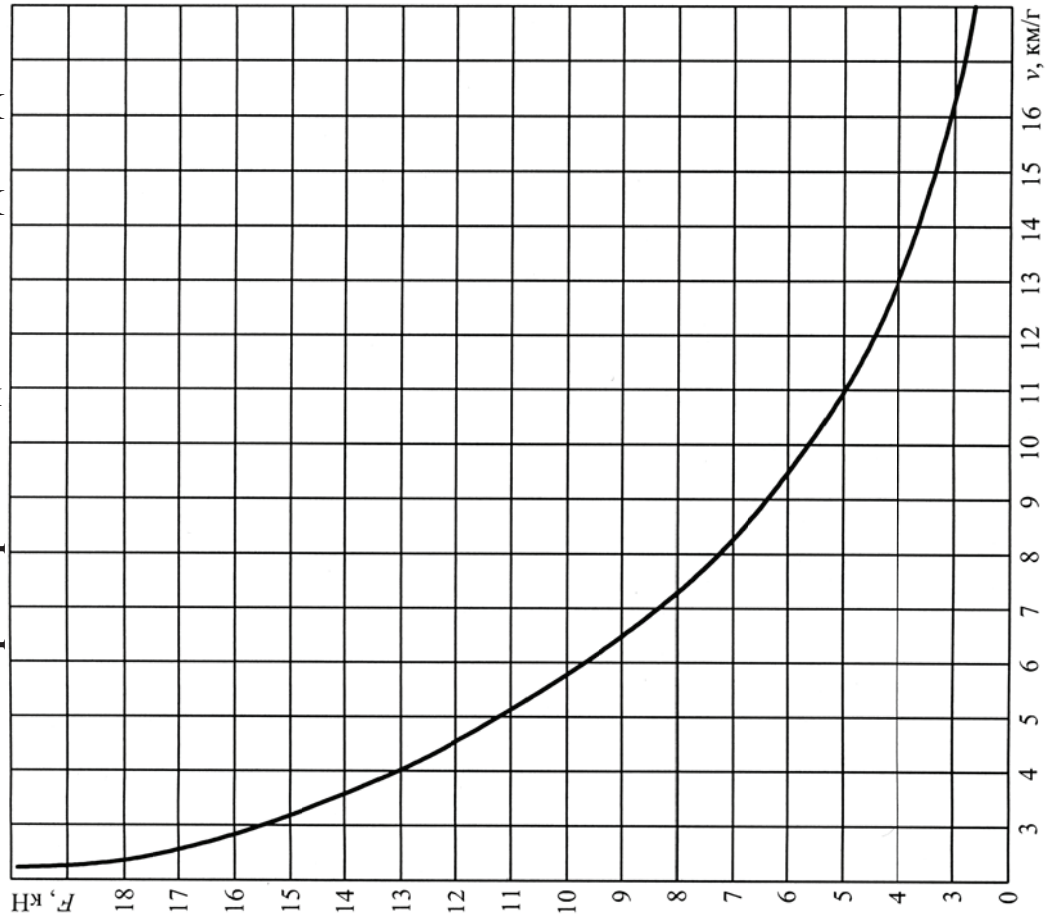




17. Тягова характеристика дизелевоза ДГ70



18. Тягова характеристика дизелевоза ДГ35.Д.О.



## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Транспорт на горных предприятиях / Под общ. ред. проф. Б.А. Кузнецова. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Недра, 1976. – 552 с.
2. Технология, организация и экономика транспорта / Под ред. проф. В.А. Пономаренко. – М.: Недра, 1977. – 222 с.
3. Спицын А.Д. Оптимизация систем шахтного локомотивного транспорта. – Алма-Ата: Наука, 1981. – 224 с.
4. Вопросы рудничного транспорта. – К.: Наук. думка, 1974. – Вып. 13. – 316 с.
5. Развитие и совершенствование шахтного и карьерного транспорта. – М.: Недра, 1973. – 360 с.
6. Справочник. Подземный транспорт шахт и рудников / Под общ. ред. Г.Я. Пейсаховича, И.П. Ремизова. – М.: Недра, 1985. – 565 с.
7. Волотковский С.А. Рудничная электровозная тяга. – М.: Недра, 1981. – 390 с.
8. Оборудование подземного транспорта и шахтной поверхности: Каталог. – М.: ЦНИЭИуголь, 1984.
9. Транспорт шахтний локомотивний. Перевезення людей і вантажів в виробках з ухилом колії від 0,005 до 0,050. Загальні технічні вимоги. Стандарт Мієнвуглепрому України СОУ10.1.00185790.007: 2006. – 47 с.
10. Основные положения по проектированию подземного транспорта для новых и действующих угольных шахт. – М.: ИГД им. Скочинского, 1985. – 356 с.
11. Расчет шахтного электровозного транспорта: Учеб. пособие / А.А. Ренгевич, М.К. Мехеда. – К.: УМК ВО, 1988. – 56 с.
12. Правила безпеки у вугільних шахтах / НПАОП10.0-1.01-05. – К., 2005, 398 с.
13. Стандарт вищого навчального закладу. Кваліфікаційні роботи випускників. Загальні вимоги до дипломних проектів і дипломних робіт / Упорядн.: В.О. Салов, О.М. Кузьменко, В.І. Прокопенко. – Д., НГА України, 2000. – 52 с.

*Навчальне видання*

Ренгевич Олександр Олександрович

Коптовець Олександр Миколайович

Коровяка Євгеній Анатолійович

Дьячков Павло Анатолійович

Яворська Вікторія Вікторівна

## РОЗРАХУНОК ШАХТНОГО ЛОКОМОТИВНОГО ТРАНСПОРТУ

Навчальний посібник

Верстка та редагування: С.П. Іванов

Підписано до друку 28.12.07. Формат 60×84/16.  
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 5,7.  
Обл.-вид. арк. 5,9. Тираж 300 прим. Зам. № 1.

Підготовлено до друку та віддруковано  
у Національному гірничому університеті.  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842.

49005, Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.

Д л я н о т а т о к