

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Филиал Уральского государственного университета путей сообщения
Челябинский институт путей сообщения

Кафедра электротехнических дисциплин

И.В. Катосонов

ТЯГОВЫЕ РАСЧЕТЫ ДЛЯ ПОЕЗДНОЙ РАБОТЫ ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГЕ

Учебно-методическое пособие к курсовой работе
по дисциплине «Тяга поездов» для студентов специальности
190701 – «Организация перевозок и управление на транспорте
(железнодорожный транспорт)»

Челябинск
2008

Катосонов И.В. Тяговые расчеты для поездной работы при электрической тяге: учеб.-метод. пособие к курсовой работе по дисциплине «Тяга поездов» – Челябинск: ЧИПС, 2008. – 72 с.

Содержатся исходные данные, задание на курсовую работу и методические указания по выполнению тяговых расчетов для поездной работы при электрической тяге. В приложениях приведены необходимые нормативные данные и сведения из ПТР, представленные в Международной системе единиц СИ.

Пособие оформлено в соответствии с ГОСТ 2.105 – 95 ЕСКД «Общие требования к текстовым документам» и предназначено для студентов всех форм обучения специальности 190701 – «Организация перевозок и управление на транспорте (железнодорожный транспорт)».

Печатается по решению научно-методического совета Челябинского института путей сообщения.

Автор: **И.В. Катосонов**, ст. преподаватель кафедры электротехнических дисциплин Челябинского института путей сообщения (ЧИПС).

Рецензенты: **М.В. Щипицын**, первый зам. нач. службы движения Южно-Уральской железной дороги – филиала ОАО «РЖД»;

В.Л. Федяев, канд. техн. наук, зав. кафедрой электротехнических дисциплин Челябинского института путей сообщения (ЧИПС).

Содержание

Введение	4
1 Общие положения	5
1.1 <i>Содержание работы</i>	5
1.2 <i>Точность расчетов</i>	5
1.3 <i>Оформление курсовой работы</i>	6
2 Исходные данные и задание на курсовую работу.....	8
2.1 <i>Общие данные</i>	8
2.2 <i>Индивидуальные данные</i>	8
2.3 <i>Задание</i>	11
3 Краткое описание заданного локомотива, его основные технические данные и характеристики	12
4 Подготовка профиля пути для выполнения тяговых расчетов	15
4.1 <i>Анализ продольного профиля пути и выбор расчетного подъема.....</i>	15
4.2 <i>Спрямление и приведение профиля пути</i>	15
5 Расчет массы состава и ее проверки	19
5.1 <i>Определение критической массы состава</i>	19
5.2 <i>Проверка массы состава по условию трогания поезда с места</i>	20
5.3 <i>Проверка массы состава по размещению на станционных путях</i>	21
6 Расчет и построение диаграммы удельных равнодействующих (ускоряющих и замедляющих) сил	23
7 Определение допустимых скоростей движения поезда на спусках (решение тормозной задачи)	26
8 Построение кривых движения поезда.....	31
8.1 <i>Построение кривой скорости движения поезда</i>	31
8.2 <i>Построение кривой времени движения поезда.....</i>	39
9 Определение скорости и времени хода поезда по перегонам.....	41
9.1 <i>Определение технической, участковой скорости и времени хода поезда по перегонам</i>	41
10 Определение расхода энергоресурсов на тягу поездов	42
10.1 <i>Построение кривых тока</i>	42
10.2 <i>Расчет полного и удельного расхода электроэнергии</i>	42
11 Оценка полученных результатов тяговых расчетов	46
Список использованных источников.....	47
Приложение А. Пример оформления титульного листа.....	48
Приложение Б. Основные технические данные электровозов	49
Приложение В. Расчетные тяговые характеристики электровозов.....	50
Приложение Г. Токовые характеристики электровозов.....	60
Приложение Д. Пример выполнения графика тяговых расчетов	69

Введение

Тяговые расчеты являются прикладной частью теории тяги поездов, с помощью которых решаются многочисленные практические задачи, возникающие при эксплуатации и проектировании железных дорог.

Порядок и технология выполнения этих расчетов на железнодорожном транспорте установлены «Правилами тяговых расчетов для поездной работы» (ПТР) [1], последняя редакция которых утверждена Министерством путей сообщения в 1980 г. и была издана официально в 1985 г. Ввиду того, что упомянутые «Правила тяговых расчетов» уже стали библиографической редкостью, в настоящем пособии приведены основные исходные нормативы и сведения из ПТР в объеме, необходимом для выполнения учебной работы.

Курсовая работа завершает изучение дисциплины «Тяга поездов» студентами специальности «Организация перевозок и управление на железнодорожном транспорте», позволяет применить полученные теоретические сведения и закрепить первоначальные навыки выполнения тяговых расчетов для поездной работы.

Цель данной работы – проверка возможности работы заданного локомотива с расчетной массой с учетом всех ограничений при условии получения минимального времени хода.

Курсовая работа выполняется по индивидуальным заданиям и состоит из двух частей.

Первая часть заключается в изучении принципа действия и общего устройства конкретного, заданного для обслуживания движения поездов на участке, типа локомотива.

Вторая, основная часть работы состоит в выполнении тяговых расчетов, связанных с определением режимов и параметров механики движения поезда (действующих на него сил, скорости движения и времени хода по участку) и затрат на его движение.

Выполняя курсовую работу, студент должен чётко усвоить физические и математические основы и взаимосвязь решаемых задач. Для этого, кроме данного пособия, необходимо изучить соответствующие разделы курса по специальной литературе [2; 3; 4] и конспектам лекций [5].

Для сдачи экзамена по дисциплине «Тяга поездов» требуется не только знание материала, охватываемого курсовой работой, но и усвоение всех теоретических и прикладных вопросов программы по этой дисциплине.

1 Общие положения

1.1 Содержание работы

Курсовая работа должна состоять из пояснительной записки с таблицами расчетов, графиков полученных зависимостей, рисунков и схем.

В пояснительной записке должно быть представлено следующее: содержание; введение; исходные данные для выполнения курсовой работы; краткое описание заданного локомотива, его основные технические данные и характеристики; анализ продольного профиля пути и выбор расчетного подъема; спрямление и приведение профиля пути; определение критической массы состава и ее проверки; расчет и построение диаграммы удельных равнодействующих (ускоряющих и замедляющих) сил; определение допустимых скоростей движения поезда на спусках; построение кривых движения поезда; определение технической, участковой скорости и времени хода поезда по перегонам; построение кривых тока; расчет полного и удельного расхода электроэнергии; оценка полученных результатов тяговых расчетов для обоих вариантов движения поезда по участку; список использованных источников.

В курсовой работе должны быть выполнены следующие графики и схемы: схема общего устройства электровоза (в продольном разрезе); расчетная тяговая характеристика локомотива; диаграмма удельных ускоряющих и замедляющих сил поезда; графическое решение тормозной задачи; токовая характеристика электровоза; график тяговых расчетов.

1.2 Точность расчетов

При выполнении расчётов достаточна точность вычислений, представленная в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Точность расчетов при выполнении курсовой работы

Величина	Обозначение	Единица измерения	Точность определения при выполнении расчетов
1	2	3	4
Скорость	V	км/ч	Один знак после запятой
Время	t	мин	Один знак после запятой

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4
Расстояние	S	м	Один знак после запятой
Полные силы	$F_{\text{к}}, W_0', W_0'', B_{\text{т}}$	Н	С округлением до 500 Н
Удельные силы	$f_{\text{к}}, w_0', w_0'', b_{\text{т}}$	Н/кН	Два знака после запятой
Уклоны	i	‰	Один знак после запятой
Масса состава	$m_{\text{с}}$	т	С округлением до 50 т
Ток	I	А	С округлением до 10 А
Коэффициент трения	$\varphi_{\text{кр}}$	—	С тремя знаками после запятой
Удельный расход электроэнергии	a	кВт·ч/10 ⁴ т·км брутто	Один знак после запятой

1.3 Оформление курсовой работы

При оформлении курсовой работы необходимо соблюдать ГОСТ 2.105-95 «Общие требования к текстовым документам» и стандарт предприятия (УрГУПС) [7], в том числе:

- курсовая работа должна быть написана на одной стороне нелинованных листов белой бумаги формата А4 (210х297 мм), аккуратно, разборчиво, без сокращения слов. Допускается использование средств печати вычислительной техники с соблюдением формата А4. На каждой странице необходимо оставить поля: слева не менее 30 мм; справа не менее 10 мм; сверху не менее 15 мм; и снизу не менее 20 мм. Обозначать поля рамкой не рекомендуется;

- материал курсовой работы следует излагать с необходимыми пояснениями существа, методики и результатов решения задач. Основные результаты работы изложить в разделе «Оценка полученных результатов тяговых расчетов»;

- нумерация страниц сквозная, начиная с титульного листа. В нумерацию включаются все страницы, содержащие какую-либо информацию (исходные данные, графики и т.д.). Номер страницы указывается внизу листа по центру;

– нумерация иллюстраций, формул и таблиц должна выполняться по единому образцу – либо в виде сквозной нумерации по всему документу, либо в пределах каждого раздела. В первом случае указывается только порядковый номер, во втором случае в нумерацию включается номер раздела и порядковый номер внутри раздела;

– графическая часть тяговых расчётов выполняется карандашом или тушью на миллиметровой бумаге, имеющей высоту листа 297 мм.

При изображении графических зависимостей следует:

– на каждом графике иметь нулевую абсциссу и нулевую ординату;

– оси координат выделить по сравнению с сеткой более толстой линией;

– на осях координат проставить буквенные обозначения откладываемых величин с соответствующими размерностями;

– на оси координат нанести числовые обозначения шкалы в соответствии с принятыми масштабами изображения величин.

Расчёты нужно сопровождать достаточно подробными пояснениями. Расчётные формулы приводить вначале в общем виде с расшифровкой принятых буквенных обозначений, после чего следует подставить в формулу числовые величины, произвести вычисления и записать результат. При этом необходимо проставить для рассчитанных величин их размерность.

На титульном листе работы необходимо указать название дисциплины, группу, фамилию и инициалы студента и др. (см. приложение А). Содержание, задание и исходные данные следует поместить в начале работы, а список использованных источников в конце.

Курсовая работа обязательно подписывается студентом с указанием даты.

Студент сдаёт выполненную курсовую работу рецензенту для проверки и обязан до защиты работы внести в неё исправления по замечаниям преподавателя. При этом не следует переписывать работу или отдельные её разделы и производить исправления по написанному тексту. Все исправления должны быть сделаны на обратной стороне предыдущего листа напротив того места, где допущена ошибка. Стирать и зачёркивать замечания рецензента запрещается. После выполнения каких - либо исправлений и получения нового результата, следует, если это требуется, внести соответствующие поправки и в дальнейшие расчёты.

Курсовая работа, выполненная студентом не по своему варианту и без соблюдения выше изложенные положения, к защите не допускается.

2 Исходные данные и задание на курсовую работу

2.1 Общие данные

2.1.1 Участок *A-B* имеет звеньевой путь.

2.1.2 Оси станций расположены посередине станционных путей на следующих элементах профиля пути:

- ось станции *A* расположена в начале первого элемента;
- ось станции *B* расположена в середине элемента №11;
- ось станции *B* расположена в конце последнего элемента.

2.1.3 Полезная длина станционных путей – 1250 м.

2.1.4 Допустимая скорость движения по состоянию путей:

- по перегонам.....80 км/ч;
- по станциям.....60 км/ч.

2.1.5 Путь приема поезда:

а) для 1-го варианта движения поезда:

- промежуточная станция *B* – на главный путь станции;
- конечная станция – на главный путь станции;

б) для 2-го варианта движения поезда:

- промежуточная станция *B* – на боковой путь станции;
- конечная станция – на главный путь станции.

2.1.6 Допустимый тормозной путь при экстренном торможении – 1200 м.

2.1.7 Расчетный тормозной коэффициент грузового поезда – 0,33.

2.1.8 Тормозные колодки – композиционные.

2.2 Индивидуальные данные

2.2.1 Состав – грузовой, сформированный из четырехосных и восьмиосных вагонов с роликовыми подшипниками. Доля (по массе) восьмиосных α_8 и четырехосных α_4 вагонов в составе поезда

$$\alpha_8 = 0,2 + 0,02 \cdot N, \quad (2.1)$$

где N – порядковый номер студента по списку.

$$\alpha_4 = 1 - \alpha_8. \quad (2.2)$$

2.2.2 Масса в тоннах, приходящаяся на ось четырехосных и восьмиосных вагонов определяется по формулам:

$$m_{08} = 11 + 0,2 \cdot N, \quad (2.3)$$

$$m_{04} = 13 + 0,2 \cdot N. \quad (2.4)$$

2.2.3 Начальные условия:

– начальная километровая отметка участка S_0 , км

$$S_0 = 800 + 100 \cdot N; \quad (2.5)$$

– скорость движения поезда в начале участка $V_0 = 0$ км/ч;

– начальное значение времени движения поезда $t_0 = 0$ мин.

2.2.4 Время стоянки на промежуточной станции $T_{ст}$, мин

$$T_{ст} = 5 + 0,2 \cdot N. \quad (2.6)$$

2.2.5 Серия электровоза выбирается по таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Распределение серий электровозов по списочным номерам студентов

Серия электровоза	Номер по списку студента			
ВЛ8	1	12	22	33
ВЛ10	2	13	23	34
ВЛ10 ^у	3	14	24	35
ВЛ11 (две секции)	4	15	25	36
ВЛ11 (три секции)	5	16	26	37
ВЛ22 ^м	6	17	27	38
ВЛ23	7	18	28	39
ВЛ80 ^т	8	19	29	40
ВЛ80 ^к	9	20	30	41
ВЛ80 ^с	10	21	31	42
ВЛ85	11	22	32	43

2.2.6 Данные о продольном профиле и плане пути приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Продольный профиль и план пути

Станция или элемент пути	Длина, м	Номер участка пути														
		0 и 1			2 и 3			4 и 5			6 и 7			8 и 9		
		Уклон, ‰	Кривая, м		Уклон, ‰	Кривая, м		Уклон, ‰	Кривая, м		Уклон, ‰	Кривая, м		Уклон, ‰	Кривая, м	
			R _{кр}	S _{кр}		R _{кр}	S _{кр}		R _{кр}	S _{кр}		R _{кр}	S _{кр}		R _{кр}	S _{кр}
станция А	1150	+2,5	–	–	+2,0	–	–	+1,5	2100	700	-2,5	–	–	-1,0	–	–
2	900	0,0	–	–	-1,0	800	500	-2,0	–	–	+1,5	–	–	+4,0	900	300
3	1600	-2,0	1000	600	-2,0	–	–	-4,0	900	600	+6,0	–	–	+6,0	–	–
4	1200	0,0	–	–	+1,0	900	100	0,0	–	–	-9,0	800	100	-7,0	600	600
5	600	+1,5	–	–	+3,0	–	–	+3,0	–	–	+4,0	1200	600	-4,0	–	–
6	4800	+9,0	700	350	+8,0	–	–	-7,0	–	–	-6,0	–	–	-7,0	–	–
7	1900	-4,0	–	–	-3,0	–	–	-3,0	1800	900	+4,0	–	–	-3,0	–	–
8	1200	+9,0	–	–	-1,0	700	600	-9,0	–	–	-8,0	–	–	+5,0	–	–
9	600	-2,0	900	500	-2,0	–	–	+6,0	–	–	+4,0	–	–	+3,0	–	–
10	1800	+11,0	–	–	+10,0	–	–	+4,0	–	–	+3,0	–	–	+10,0	–	–
станция Б	1050	-2,0	–	–	-2,0	–	–	-1,0	–	–	+2,5	–	–	+2,0	800	450
12	1000	0,0	–	–	+1,0	210	500	+5,0	–	–	+2,0	2000	100	0,0	–	–
13	4500	+4,0	–	–	+3,0	–	–	+7,0	–	–	+6,0	–	–	-5,0	–	–
14	900	-11,0	800	500	-10,0	–	–	-2,0	1400	800	-2,0	–	–	0,0	–	–
15	300	+4,3	–	–	+4,0	–	–	0,0	–	–	-4,0	–	–	+3,0	1400	300
16	500	+3,0	–	–	+3,0	–	–	-4,0	–	–	+3,0	–	–	+4,0	–	–
17	5000	-9,0	–	–	-8,0	150	500	-1,0	–	–	+2,0	1800	900	+8,0	1200	500
18	1200	-1,0	700	400	-2,0	–	–	+9,0	–	–	+9,0	–	–	+4,0	–	–
19	800	+5,0	–	–	+3,0	–	–	0,0	900	400	-3,0	–	–	-8,0	–	–
20	700	0,0	–	–	0,0	–	–	+1,0	–	–	-5,0	–	–	-4,0	–	–
станция В	1250	0,0	–	–	0,0	–	–	0,0	–	–	0,0	2100	900	0,0	–	–

Примечание – Участки 0, 2, 4, 6 и 8 – движение от ст. А к ст. В; участки 1, 3, 5, 7 и 9 – движение от ст. В к ст. А (знаки уклонов поменять на обратные).

2.3 Задание

2.3.1 Тяговые расчеты должны быть выполнены в двух вариантах:

- 1-й вариант – без остановки на промежуточной станции;
- 2-й вариант – с остановкой на промежуточной станции.

2.3.2 Тяговые расчеты должны быть произведены с наибольшим использованием тяговых свойств электровоза и допустимых скоростей движения поезда по участку с целью получения наименьших значений перегонных времен хода.

2.3.3 Методика выполнения тяговых расчетов и используемые при этом нормативные данные должны соответствовать «Правилам тяговых расчетов для поездной работы».

3 Краткое описание заданного локомотива, его основные технические данные и характеристики

Эта часть курсовой работы включает в себя 2...3 страницы текста пояснительной записки с двумя иллюстрациями: схемой общего устройства электровоза (в продольном разрезе) и его расчетной тяговой характеристикой.

В общей характеристики локомотива следует указать:

- его назначение (грузовой, пассажирский и т.п.);
- число секций;
- расшифровку обозначения серии электровоза;
- систему тока (постоянный, однофазный переменный);
- осевую формулу и ее пояснение;
- основные технические данные локомотива.

Основные технические данные локомотива определяются по заданной серии электровоза в соответствии с приложением Б:

- сила тяги при трогании с места $F_{\text{ктр}}$, кН;
- расчетная сила тяги $F_{\text{кр}}$, кН;
- расчетная скорость движения V_p , км/ч;
- конструкционная скорость движения V_k , км/ч;
- масса электровоза m_3 , т;
- длина электровоза l_3 , м.

Описание надо иллюстрировать схемой общего устройства электровоза. На схеме необходимо обозначить основные узлы электровоза, дать их перечень и отметить главные особенности. Кроме того, показать некоторые основные размеры электровоза (общая длина, высота, диаметр колес).

Эта часть раздела работы завершается изображением расчетной тяговой характеристики электровоза (приложение В). Масштаб построения произвольный, но его надо выбирать так, чтобы размеры графика занимали весь лист формата А4. На построенную тяговую характеристику необходимо нанести ограничения режимов работы тяговых двигателей по конструкционной скорости, силы тяги по сцеплению колес с рельсами и ограничение силы тяги по максимальному току.

Ограничение по конструкционной скорости наносят в виде горизонтальной прямой. Данное ограничение принимают на основании техниче-

ских данных заданного электровоза.

Ограничение тяговой характеристики электровоза по сцеплению $F_{\text{сц}}$, кН, вычисляется по выражению

$$F_{\text{сц}} = 9,81 \cdot m_{\text{э}} \cdot \psi_{\kappa}, \quad (3.1)$$

где ψ_{κ} – расчетный коэффициент сцепления.

Расчетный коэффициент сцепления:

– для электровозов ВЛ10, ВЛ10^у, ВЛ11

$$\psi_{\kappa} = 0,28 + \frac{3}{50 + 20 \cdot V} - 0,0007 \cdot V; \quad (3.2)$$

– для электровозов ВЛ22^М, ВЛ23, ВЛ8

$$\psi_{\kappa} = 0,25 + \frac{8}{100 + 20 \cdot V}; \quad (3.3)$$

– для электровозов ВЛ80^Т, ВЛ80^К, ВЛ80^С

$$\psi_{\kappa} = 0,28 + \frac{4}{50 + 6 \cdot V} - 0,0006 \cdot V; \quad (3.4)$$

– для электровоза ВЛ85

$$\psi_{\kappa} = 0,3 + \frac{4,3}{50 + 6 \cdot V} - 0,0006 \cdot V. \quad (3.5)$$

Расчет $F_{\text{сц}}$ (V) производить по формулам (3.1) и (3.2)...(3.5) и полученные значения свести в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Значения силы сцепления колес электровоза с рельсами

V , км/ч	0	5	10	20	30	40	50	60
ψ_{κ}	...	...	...	...	...	...	...	...
$F_{\text{сц}}$, кН	...	...	...	...	...	...	...	...

По полученным значениям $F_{\text{сц}}(V)$ на построенную тяговую характеристику электровоза наносят ограничение по сцеплению колес с рельсами.

Для всех заданных электровозов, кроме электровозов ВЛ22^М и ВЛ8, ограничение силы тяги по максимальному току не является лимитирующим и не наносится на тяговую характеристику. Для электровозов ВЛ22^М и ВЛ8 ограничение силы тяги по току строят по данным ПТР.

Расчетную тяговую характеристику электровоза $F_k(V)$ и ее ограничения (см. рисунок 3.1) рекомендуется построить на масштабной координатной бумаге.

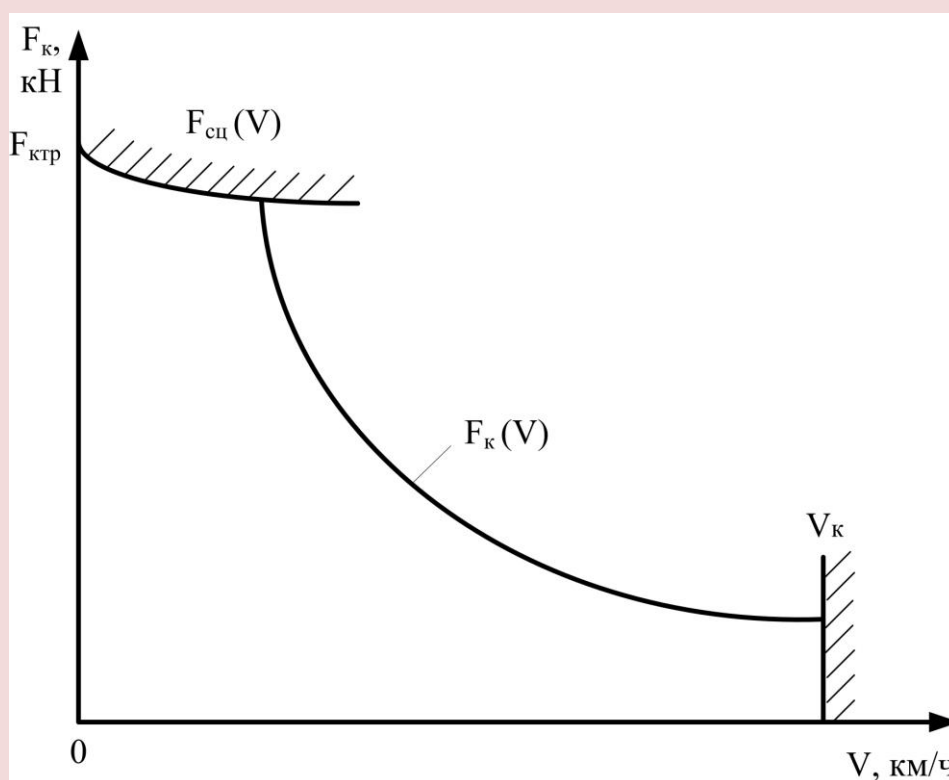


Рисунок 3.1 – Расчетная тяговая характеристика электровоза и ее ограничения

4 Подготовка профиля пути для выполнения тяговых расчетов

4.1 Анализ продольного профиля пути и выбор расчетного подъема

Анализ заданного профиля пути участка заключается в следующем:

- определение станции, на которой будет проверяться критическая масса состава по условию взятия поезда с места;
- установление наибольшего спуска, на котором будет решаться тормозная задача;
- обоснование и выбор расчетного подъема, значение которого будет использоваться в дальнейшем при определении критической массы состава.

Для выбора расчётного подъёма, т.е. самого трудного подъёма на заданном участке, необходимо выделить несколько элементов разной длины и крутизны и один из них принять за расчётный. Если самый крутой подъём имеет небольшую длину, а ему предшествуют «легкие» элементы пути (спуски, площадки), позволяющие поезду развить высокую скорость движения и преодолеть часть его за счёт использования накопленной кинетической энергии, то такой подъём считать расчётным нецелесообразно. С целью более полного использования тяговых свойств локомотива, за расчётный подъём принимают не самый крутой, но достаточно длинный подъём, на котором может быть достигнута равномерная скорость движения поезда.

4.2 Спрявление и приведение профиля пути

Для упрощения тяговых расчетов продольный профиль и план пути подвергают обработке, состоящей из двух операций:

- 1) спрявление продольного профиля – объединение ряда его смежных элементов в один участок с однородным уклоном i'_c ;
- 2) спрявление пути в плане – замена кривых фиктивными подъемами i''_c в пределах спрявленных элементов профиля.

Спрявленный профиль должен сохранять особенности действительного профиля, поэтому нельзя спрямлять:

- элементы профиля пути станций;
- элементы с уклонами разного знака;

– расчётного подъёма с прилегающими элементами.

Крутизну спрямлённого элемента i'_c , ‰, определяют по формуле

$$i'_c = \frac{i_1 \cdot S_1 + i_2 \cdot S_2 + \dots + i_n \cdot S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n} = \frac{\sum i_j \cdot S_j}{S_c}, \quad (4.1)$$

где $i_1, i_2, \dots, i_n$ – уклоны спрямляемых элементов, ‰;

$S_1, S_2, \dots, S_n$ – длины спрямляемых элементов, м.

Чтобы в расчётах не допустить больших погрешностей из-за замены действительного профиля спрямлённым, проводят проверку допустимости их спрямления по эмпирической формуле

$$S_j \leq 2000 / |i'_c - i_n|, \quad (4.2)$$

где S_j – длина спрямляемого элемента пути, м;

Δi – абсолютная разность между уклонами спрямлённого и спрямляемого элементов, ‰.

Такой проверке подвергают все элементы, входящие в спрямляемую группу. Если хотя бы один элемент не удовлетворяет условию (4.2), то такую группу спрямлять нельзя.

Если на спрямляемых элементах расположены кривые, то их заменяют фиктивным подъёмом от кривой i''_c , ‰, по формуле

$$i''_c = \frac{700}{S_c} \sum_{1}^n \frac{S_{кр}}{R_{кр}}, \quad (4.3)$$

где n – количество кривых на спрямленном участке;

$S_{кр}$ – длина кривой, м;

$R_{кр}$ – радиус кривой, м.

Приведенный уклон спрямленного элемента в продольном профиле и плане пути i_c , ‰, определяется по выражению

$$i_c = i'_c + i''_c. \quad (4.4)$$

Результаты расчётов по спрямлению заданного профиля пути сводятся в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Таблица спрямления профиля пути

Действительный профиль					Спрямлённый профиль				
Номер элемента пути	Крутизна элементов i , ‰	Длина элементов S , м	Кривая		Длина участка S_c , м	Крутизна участка i'_c , ‰	Фиктивный подъем i''_c , ‰	Приведенный уклон $i_c = i'_c + i''_c$, ‰	Номер спрямленных участков
			Радиус $R_{кр}$, м	Длина $S_{кр}$, м					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ст.А	...	...	...	...	...	...	...	...	1
2	...	...	...	...	...	...	...	...	2
3	...	...	...	...	...	...	...	...	3
4	...	...	...	...	...	...	...	...	4
5	...	...	...	...					
6	...	...	...	...	...	...	...	...	5
.	...	...	...	...					
.	...	...	...	...					

Примечания

1 В столбцы 1...5 таблицы заносятся параметры всех элементов заданного профиля пути, взятые из таблицы 2.2.

2 Если элемент заданного профиля не спрямляется, то он переносится на спрямленный профиль (учитывается фиктивный подъем от кривой, если она имеется).

3 Участки спрямленного профиля следует разделить горизонтальными линиями (от столбца 6 до столбца 10).

Необходимо отметить, что знак крутизны уклона i'_c может быть как положительным (для подъёмов), так и отрицательным (для спусков). Знак крутизны фиктивного подъёма i''_c от кривой всегда положительный. Это обстоятельство надо учитывать при вычислении крутизны спрямлённого участка.

Горизонтальные элементы профиля пути (площадки) могут включаться в спрямляемые группы как с элементами, имеющими положительный знак крутизны, так и с элементами отрицательной крутизны.

В тексте пояснительной записки достаточно привести только те расчеты, которые подтверждают возможность спрямления.

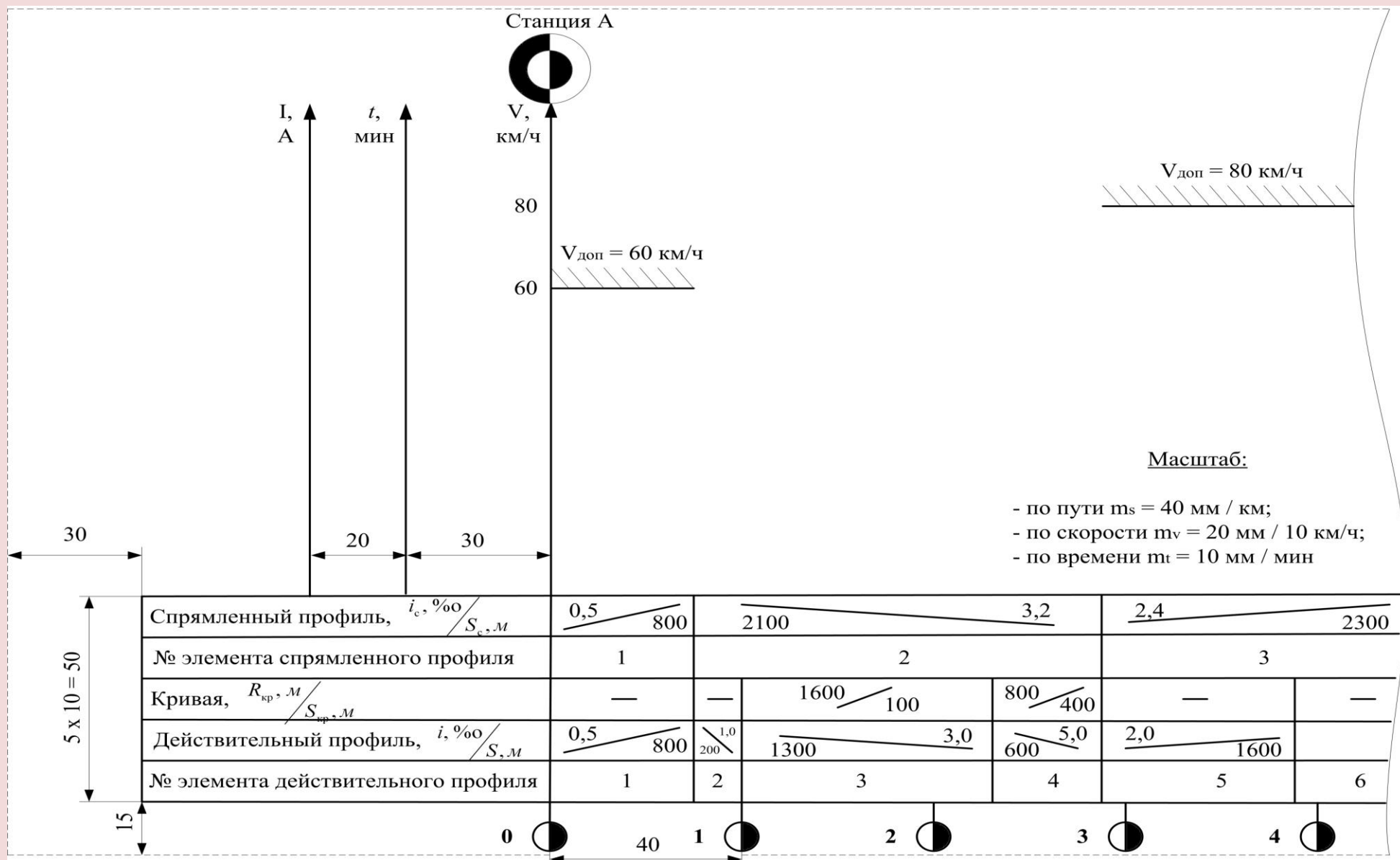


Рисунок 4.1 – Пример оформления профиля пути

5 Расчет массы состава и ее проверки

5.1 Определение критической массы состава

Критическая масса состава m_c , т, определяется по мощности электровоза из условия движения поезда по расчетному подъему с установившейся расчетной скоростью движения по формуле

$$m_c = \frac{F_{кр} / g - m_э (w'_0 + i_p)}{w''_0 + i_p}, \quad (5.1)$$

где $F_{кр}$ – расчетная сила тяги электровоза, Н;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

$m_э$ – масса электровоза, т;

w'_0 – удельное основное сопротивление движению электровоза при езде под током, Н/кН;

i_p – расчетный подъем, ‰;

w''_0 – удельное основное сопротивление движению состава, Н/кН.

Примечания

1 Величины w'_1 и w''_0 определяют для расчетной скорости электровоза V_p .

2 В соответствии с ПТР, полученная в результате расчета масса состава округляется с точностью до 50 т.

Для всех серий электровозов величину w'_1 рассчитывают по формуле

$$w'_0 = 1,9 + 0,01 \cdot V + 0,0003 \cdot V^2, \quad (5.2)$$

где V – скорость движения, км/ч.

Для состава, сформированного из четырехосных и восьмиосных вагонов, величину w''_0 рассчитывают по формуле

$$w''_0 = \alpha_4 \cdot w''_{04} + \alpha_8 \cdot w''_{08}, \quad (5.3)$$

где α_4 – доля четырехосных вагонов (по массе) в составе;

α_8 – доля восьмиосных вагонов (по массе) в составе;

w_{04}'' – удельное основное сопротивление движению четырехосных вагонов, Н/кН;

w_{08}'' – удельное основное сопротивление движению восьмиосных вагонов, Н/кН.

Удельное основное сопротивление движению груженных четырехосных и восьмиосных вагонов определяют по формулам:

$$w_{04}'' = 0,7 + \frac{3 + 0,1 \cdot V + 0,0025 \cdot V^2}{m_{04}}, \quad (5.4)$$

$$w_{08}'' = 0,7 + \frac{6 + 0,038 \cdot V + 0,0021 \cdot V^2}{m_{08}}, \quad (5.5)$$

где m_{04} , m_{08} – масса, приходящаяся на ось четырехосного и восьмиосного вагона, соответственно, т.

Примечание – Согласно ПТР, полученные удельные силы необходимо записывать с двумя знаками после запятой.

5.2 Проверка массы состава по условию трогания поезда с места

Масса состава при трогании с места $m_{тр}$, т, определяется по формуле

$$m_{тр} = \left[\frac{F_{ктр}}{g \cdot (w_{тр} + i_{тр})} \right] - m_3, \quad (5.6)$$

где $F_{ктр}$ – сила тяги при трогании с места, Н;

$w_{тр}$ – основное удельное сопротивление движению при трогании с места, Н/кН;

$i_{тр}$ – уклон участка пути, на котором происходит трогание поезда с места, ‰.

Примечание – Согласно ПТР для проверки массы состава по троганию с места выбирается отдельный пункт (станция), расположенный на наиболее трудном элементе.

Удельное основное сопротивление движению при трогании поезда с места для вагонов на роликовых подшипниках определяется по формуле

$$w_{\text{тpi}} = \frac{28}{m_{\text{oi}} + 7}, \quad (5.7)$$

где m_{oi} – масса, приходящаяся на ось вагона i -того типа, т.

Для состава из четырехосных и восьмиосных вагонов $w_{\text{тр}}$ определяют по выражению

$$w_{\text{тр}} = \alpha_4 \cdot w_{\text{тp4}} + \alpha_8 \cdot w_{\text{тp8}}. \quad (5.8)$$

Масса состава, полученная по условиям трогания с места должна быть больше расчетной массы состава

$$m_{\text{тр}} > m_{\text{с}}. \quad (5.9)$$

Так как для проверки массы состава на трогание с места была выбрана станция, расположенная на наиболее трудном элементе, то делается вывод о том, что трогание с места и разгон поезда обеспечены на всех отдельных пунктах участка.

В том случае, когда условие формулы (5.9) не выполняется, следовательно, поезд на наиболее тяжелом подъеме не сможет тронуться с места остановки, необходимо уменьшить массу состава (для начала, например, на 100 т) и все расчеты по проверке массы состава повторить снова. Уменьшение массы состава следует производить до тех пор, пока не будет выдерживаться условие (5.9).

5.3 Проверка массы состава по размещению на станционных путях

Мощные электровозы, развивающие большие силы тяги, могут водить поезда значительной массы и длины. Однако поезд должен устанавливаться в пределах приемо-отправочных путей на станциях участка обращения. В противном случае он займет стрелки, чем усложнит работу раздельного пункта и сделает невозможным обгон, а также скрещение поездов на однопутных участках. Поэтому длину поезда, масса которого определена по условиям движения по наиболее трудному подъему и трогания с места, проверяют на возможность установки по длине приемо-

отправочных путей.

Длина поезда l_n , м, определяется по формуле

$$l_n = l_c + l_3 \cdot n_3 + 10, \quad (5.10)$$

где l_c – длина состава, м;

l_3 – длина электровоза, м (см. приложение Б);

n_3 – число электровозов, $n_3 = 1$;

10 – допуск на установку поезда, м.

Длина состава находится по выражению

$$l_c = n_4 \cdot l_4 + n_8 \cdot l_8, \quad (5.11)$$

где n_4 , n_8 – количество четырехосных и восьмиосных вагонов в составе, соответственно;

l_4 , l_8 – длина четырехосных и восьмиосных вагонов, соответственно, м.

В курсовой работе можно принять, что длина восьмиосного вагона равна 20 м, а четырехосного – 15 м.

Количество вагонов определяется по выражению

$$n_i = \alpha_i \cdot m_c / m_i, \quad (5.12)$$

где α_i – доля вагонов i -того типа (по массе);

m_i – масса одного вагона i -того типа, т.

Далее необходимо сделать проверку полученной массы состава по размещению ее на станционных путях, используя при этом следующее выражение

$$l_n \leq l_{пол}, \quad (5.13)$$

где $l_{пол}$ – полезная длина приемо-отправочных путей, $l_{пол} = 1250$ м.

Если длина поезда оказалась больше длины приемо-отправочных путей, то необходимо массу состава уменьшить до величины, при которой длина поезда будет равна длине станционного пути.

6 Расчет и построение диаграммы удельных равнодействующих (ускоряющих и замедляющих) сил

Для получения в дальнейшем кривых движения поезда графическим способом необходимо предварительно рассчитать удельные результирующие силы, действующие на поезд при движении его по прямому и горизонтальному участку пути. Для этого предварительно составляется таблица 6.1 для трех возможных режимов движения поезда:

- 1) тяги $f_k - w_0 = f(V)$;
- 2) холостого хода (выбега) $w_{ox} = f(V)$;
- 3) торможения:
 - служебное регулировочное торможение $w_{ox} + 0,5 \cdot b_T = f(V)$;
 - экстренное торможение $w_{ox} + b_T = f(V)$.

Кроме построения этих зависимостей, расчетные данные таблицы используют при решении тормозной задачи.

Таблицу 6.1 составляют для скоростей от 0 до конструкционной V_k через 10 км/ч (столбец 1). В графу скорости следует внести и величину расчетной скорости.

Во второй столбец заносят величины силы тяги локомотива для указанных в первом столбце скоростей. Значение силы тяги определяют по расчётной тяговой характеристике локомотива, которая приведена в приложении В.

Основное удельное сопротивление движению локомотива w'_0 в режиме тяги рассчитывают по формуле (5.2). Основное удельное сопротивление движению состава w''_0 для скоростей 10 и более км/ч определяют по формулам (5.3)...(5.5). При скорости $V = 0$ км/ч (момент трогания с места) вместо w''_0 следует записать значение $w_{тр}$, которое рассчитывают по формуле (5.8).

Дальнейший расчёт ясен из заголовков граф таблицы 6.1.

При расчёте таблицы 6.1 целесообразно использовать табличный редактор Microsoft Excel.

По данным таблицы 6.1 (графы, выделены серой заливкой) следует построить три графика на отдельном листе миллиметровой бумаги, составляющих диаграмму удельных равнодействующих сил (см. рисунок 6.1).

При построении диаграммы следует пользоваться следующими масштабами: для скорости движения – $m_v = 2$ мм / (км/ч); для удельных сил – $m_f = 12$ мм / (Н/кН).

Таблица 6.1 – Таблица удельных равнодействующих (ускоряющих и замедляющих) сил

$V,$ км/ч	Режим тяги								Режим холостого хода				Режим торможения			
	$F_k,$ Н	$w_0',$ Н/кН	$w_0' = w_0' \cdot m_3,$ Н	$w_0'',$ Н/кН	$w_0'' = w_0'' \cdot m_c \cdot g,$ Н	$w_0 = w_0' + w_0'',$ Н	$F_k - w_0,$ Н	$f_k - w_0 = (F_k - w_0) / (m_c + m_3)g,$ Н/кН	$w_x = 2,4 + 0,011V + 0,00035V^2,$ Н/кН	$w_x = w_x \cdot m_3 \cdot g,$ Н	$w_x + w_0'',$ Н	$w_{0x} = (w_x + w_0'') / (m_c + m_3)g,$ Н/кН	$\varphi_{кр} = 0,36 \cdot [(V + 150) / (2V + 150)]$	$\vartheta_m = 1000 \cdot \varphi_{кр} \cdot g_p,$ Н/кН	$-(w_{0x} + 0,5\epsilon_m),$ Н/кН	$-(w_{0x} + \epsilon_m),$ Н/кН
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0	-----	---	-----	---	-----	-----	-----	---	---	-----	-----	---	---	---	---	---
10	-----	---	-----	---	-----	-----	-----	---	---	-----	-----	---	---	---	---	---
20	-----	---	-----	---	-----	-----	-----	---	---	-----	-----	---	---	---	---	---
30	-----	---	-----	---	-----	-----	-----	---	---	-----	-----	---	---	---	---	---
40	-----	---	-----	---	-----	-----	-----	---	---	-----	-----	---	---	---	---	---
V_p	-----	---	-----	---	-----	-----	-----	---	---	-----	-----	---	---	---	---	---
50	-----	---	-----	---	-----	-----	-----	---	---	-----	-----	---	---	---	---	---
60	-----	---	-----	---	-----	-----	-----	---	---	-----	-----	---	---	---	---	---
70	-----	---	-----	---	-----	-----	-----	---	---	-----	-----	---	---	---	---	---
..	-----	---	-----	---	-----	-----	-----	---	---	-----	-----	---	---	---	---	---
..	-----	---	-----	---	-----	-----	-----	---	---	-----	-----	---	---	---	---	---
V_k	-----	---	-----	---	-----	-----	-----	---	---	-----	-----	---	---	---	---	---

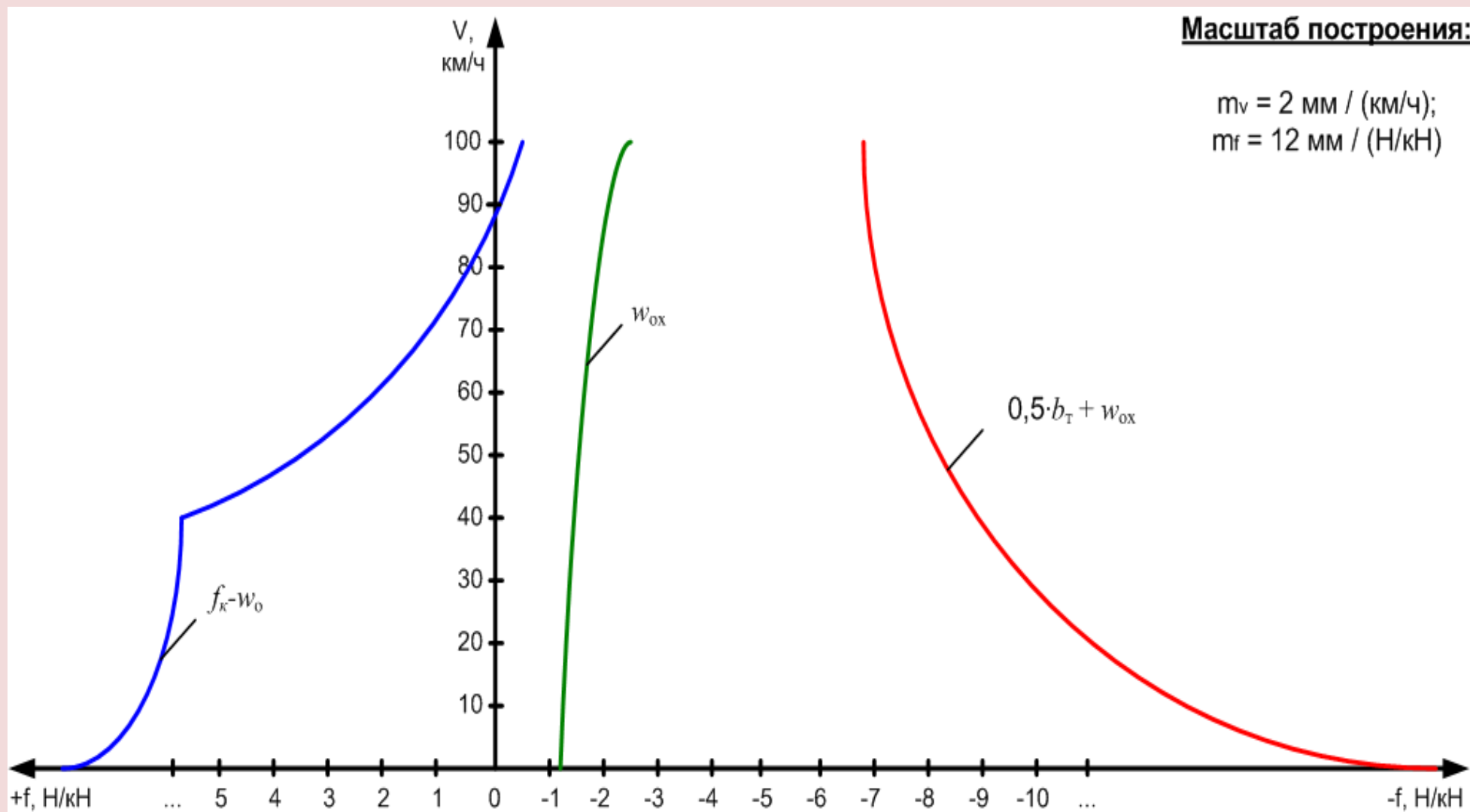


Рисунок 6.1 – Диаграмма удельных ускоряющих и замедляющих сил поезда массой состава т на участке постоянного (переменного) тока

7 Определение допустимых скоростей движения поезда на спусках (решение тормозной задачи)

При движении поезда по уклонам его скорость не должна превышать допустимых значений, определяемых мощностью тормозной системы. При этом путь, проходимый поездом до полной остановки, должен быть не более установленного соответствующими инструкциями. Этот путь (тормозной) S_t , м, равен сумме подготовительного и действительного тормозных путей и определяется по следующей формуле

$$S_t = S_{\pi} + S_d, \quad (7.1)$$

где S_{π} – подготовительный тормозной путь, на протяжении которого тормоза поезда условно принимаются недействующими (от момента установки ручки крана машиниста в тормозное положение до включения тормозов поезда), м;

S_d – действительный тормозной путь, на протяжении которого поезд движется с действующими в полную силу тормозами (конец пути S_{π} , совпадает с началом пути S_d), м.

Равенство (7.1) позволяет искать допустимую скорость как величину, соответствующую точке пересечения графических зависимостей подготовительного пути и действительного тормозного пути от скорости движения поезда в режиме торможения.

По данным расчетной таблицы удельных равнодействующих сил (см. столбцы 1 и 17 таблицы 6.1) необходимо построить на миллиметровой бумаге, в масштабе, по точкам графическую зависимость удельных замедляющих сил при экстренном торможении от скорости $(b_t + w_{ox}) = \varphi(V)$ (рисунок 7.1, а), а рядом, справа, устанавливаем систему координат $V-S$ (рисунок 7.1, б). Оси скоростей V в обеих системах координат должны быть параллельны, а оси удельных сил $(b_t + w_{ox})$ и пути S – лежать на одной прямой.

Для решения тормозной задачи рекомендуются масштабы:

- скорость движения – $m_v = 2 \text{ мм} / (\text{км/ч})$;
- удельные силы – $m_f = 2 \text{ мм} / (\text{Н/кН})$;
- путь – $m_s = 240 \text{ мм} / (\text{км})$.

На кривой $(b_t + w_{ox}) = \varphi(V)$ отмечаем точки, соответствующие средним значениям скоростей выбранного скоростного интервала 10 км/ч (т.е. точки, соответствующие 5, 15, 25, 35 и т.д. км/ч). Через эти точки из точки M на оси $(b_t + w_{ox})$, соответствующей крутизне самого крутого спуска участка (полюс построения), проводим лучи 1, 2, 3, 4, 5 и т.д. Поскольку начальная скорость известна, построение ведут в обратном порядке, строя отрезок $V(S_d)$ в пределах скоростей $V_1 - 0$ и проводя его перпендикулярно отрезку 1 (см. рисунок 7.1, *а*) через точку $S = S_t$ при $V = 0$ км/ч (отрезок BA на рисунке 7.1, *б*). Затем, используя точку B , строят второй отрезок CB в интервале скоростей $V_2 - V_1$ и т.д. В результате получают линию $V(S_d) ABC...IP$.

$$S_n = 0,278 \cdot V_H \cdot t_{II}, \quad (7.2)$$

где V_n – начальная скорость торможения, $V_n = 80$ км/ч;

t_n – время подготовки автотормозов грузовых составов к действию, с, определяемое по формулам:

– для составов длиной 200 осей и менее

$$t_n = 7 - \frac{10 \cdot i_c}{b_T}; \quad (7.3)$$

– для составов длиной от 200 до 300 осей

$$t_n = 10 - \frac{15 \cdot i_c}{b_T}; \quad (7.4)$$

– для составов длиной более 300 осей

$$t_n = 12 - \frac{18 \cdot i_c}{b_T}, \quad (7.5)$$

где i_c – крутизна уклона, для которого решается тормозная задача, %;

b_T – удельная тормозная сила при скорости начала торможения, Н/кН (определяется по таблице 6.1 при соответствующей скорости).

Количество осей в составе N_o определяется по формуле

$$N_o = 4 \cdot n_4 + 8 \cdot n_8, \quad (7.6)$$

где n_4 , n_8 – количество четырехосных и восьмиосных вагонов, соответственно.

Далее значение S_n откладывают на графике (см. рисунок 7.1, б) при $V_{\max}$ и получают точку K . Вторую точку определяют при $V = 0$ км/ч, когда $S_n = 0$ м. Прямая OK дает зависимость между S_n и V_n .

Точка пересечения прямой OK с кривой AP (точка N на рисунке 7.1, б) показывает допустимую скорость $V_{\text{доп}}$ на заданном спуске.

Чтобы не выполнять такие построения для каждого спуска, встречающегося на участке, делают подобные расчеты и построения для трех значений уклонов: для горизонтального прямолинейного пути ($i = 0$ %),

наибольшего спуска $i = i_{\max}$ и среднего спуска $i = -i_{\text{ср}}$. Определяя для них $V_{\text{доп}}$ и по полученным трем точкам строят кривую допустимых по тормозам скоростей в зависимости от крутизны спуска. По полученной кривой $V_{\text{доп}}(i)$ находят допустимые скорости на любом спуске.

На рисунке 7.2, *а* показаны графики удельных замедляющих сил, на рисунке 7.2, *б* построены кривые $V(S)$ при действующих тормозах на элементах профиля пути $i = 0 \text{ ‰}$; $i = -6 \text{ ‰}$; $i = -12 \text{ ‰}$ (линии AB , AC , AD) и подготовительного пути на этих элементах – прямые соответственно OE , OG , OH (рисунок 7.2, *б*). По полученным точкам M , N , P построена кривая допустимых скоростей на различных спусках (рисунок 7.2, *в*).

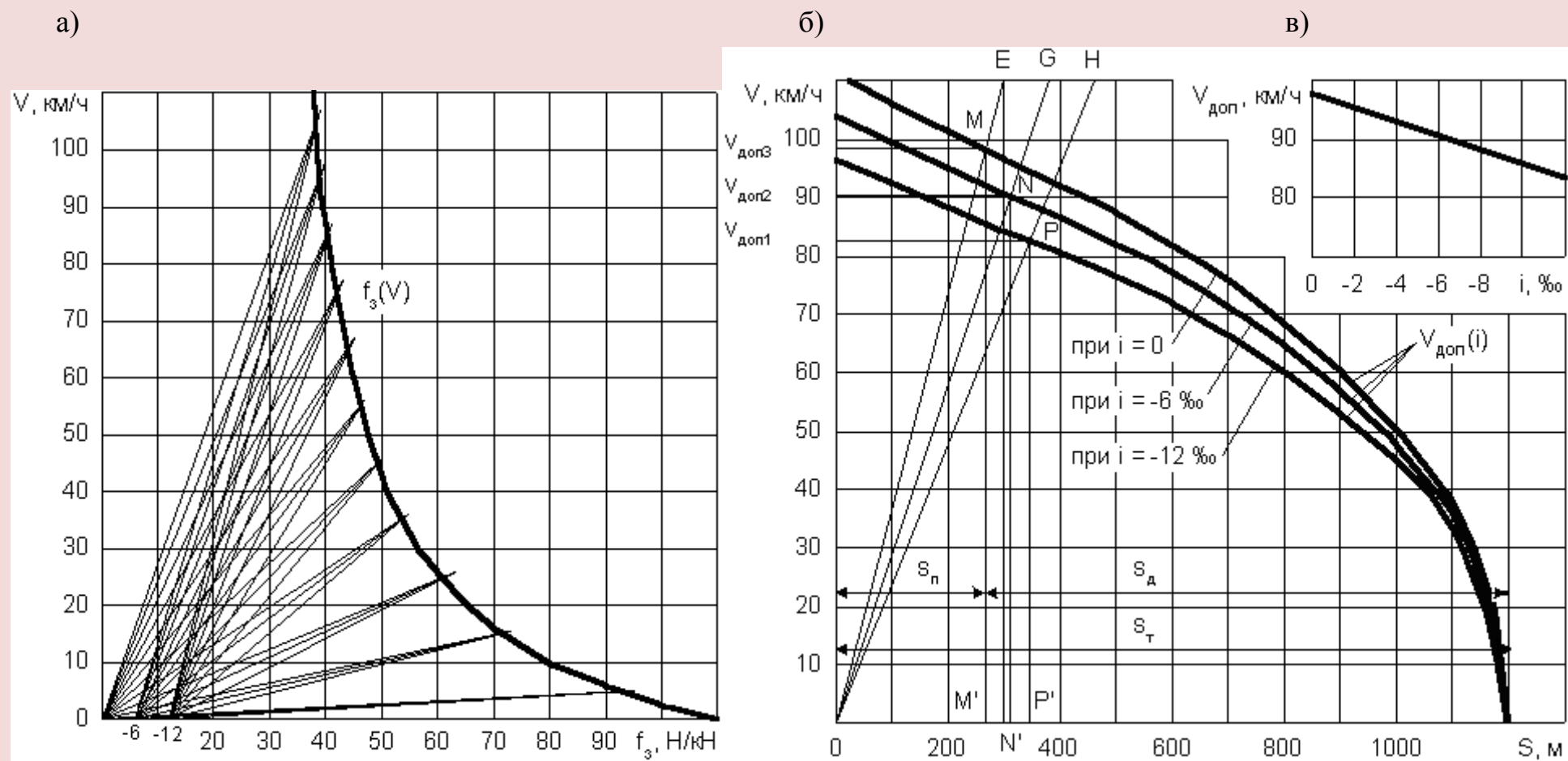


Рисунок 7.2 – Определение ограничений скорости движения поезда по тормозам на участке для трех уклонов (0, -6, -12 ‰)

8 Построение кривых движения поезда

8.1 Построение кривой скорости движения поезда

Кривой скорости принято называть графическую зависимость $V(S)$ скорости движения поезда от пройденного пути. Ее строят обычно на листе миллиметровой бумаги для трех режимов движения.

Для исключения неопределенности при выборе режима ведения поезда необходимо выбрать условие, соблюдение которого дает однозначное решение задачи. В курсовой работе режим ведения поезда нужно выбрать так, чтобы время хода по участку было минимальным. Поэтому при выборе режима движения поезда руководствуются требованием обеспечения движения с максимально возможной скоростью.

Кривую скорости необходимо построить, используя метод Липеца. Для обеспечения приемлемой точности приращение скорости принимают не больше 10 км/ч.

Построение начинают обычно с момента трогания поезда на станции отправления. Для вычислений скорости в функции пути используют диаграмму равнодействующих сил поезда $f_y(V)$ режима тяги. На рисунке 8.1 приведен пример построения фрагмента кривой скорости при разгоне на прямом горизонтальном участке пути.

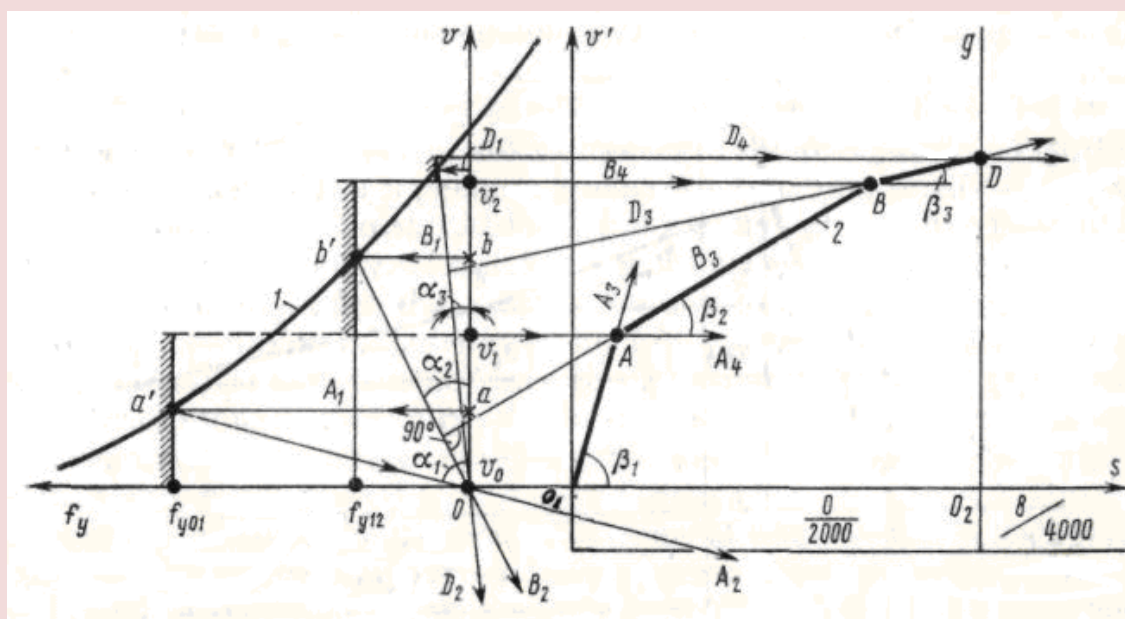


Рисунок 8.1 – Построение кривой скорости при движении на прямом горизонтальном пути

Принимают интервал скорости $\Delta V_{01} = V_1 - V_0 = 10$ км/ч (см. рисунок 8.1), где $V_0 = 0$ км/ч. По кривой 1 в пределах взятого интервала скорости определяют среднюю скорость в интервале $V_{01} = 5$ км/ч и откладывают ее в точке a диаграммы 1, далее от точки a проводят горизонталь A_1 до пересечения с кривой $f_y(V)$ в точке a' и находят соответствующую средней скорости V_{01} равнодействующую силу f_{y01} , которая принимается постоянной в пределах взятого интервала ΔV_{01} .

Следующим шагом является выбор полюса и построение хорды кривой $V(S)$ [кривая (2)] в пределах взятого интервала ΔV .

Так как движение происходит на площадке, то в качестве полюса построений принимаем начало координат O . Проведем луч A_2 через O и получим угол α_1 , тангенс которого пропорционален ускоряющей силе f_{y01} .

Теперь надо установить начало построений кривой $V(S)$. Учтем, что модель поезда представлена материальной точкой, масса которой сосредоточена в середине длины поезда. Чтобы поезд не выходил за пределы станции, построения $V(S)$ начнем с середины приемо-отправочных путей. Заканчивать построения надо также на середине путей станции остановки.

Построим перпендикуляр A_3 к лучу A_2 так, чтобы он прошел через точку O_1 – ось станции, которую принимаем на произвольном расстоянии от точки O , и получим угол β_1 . Из конца интервала скорости V_1 проведем горизонталь A_4 и в ее пересечении с перпендикуляром A_3 отметим точку A . Линия $O_1 - A$ представляет собой хорду кривой $V(S)$.

Для построения зависимости $V(S)$ на следующем шаге интегрирования ΔV_{12} начальными условиями принимаем координаты состояния поезда в конце предшествующего интервала ΔV_{01} , т.е. конец хорды $O_1 - A$.

В следующем интервале скорости $\Delta V_{12} = V_2 - V_1$ находим на диаграмме $f_y(V)$ среднюю скорость $V_{12} = (V_1 + V_2)/2$ (точка b) и равнодействующую сил f_{y12} (линия B_1). Проведем из точки B' луч B_2 через полюс O и построим угол α_2 . Перпендикуляр B_3 проведем к лучу B_2 так, чтобы он прошел не через O_1 , как ранее, а через конец хорды $O_1 - A$ в точке A . Из конца интервала скорости ΔV_{12} проведем горизонталь B_4 и в пересечении с перпендикуляром B_3 получим точку B . Линия $A - B$ также представляет собой хорду кривой $V(S)$.

Интервал скорости ΔV_{23} (последнего на взятом элементе профиля пути) необходимо определить способом подбора так, чтобы лучи D_3 , D_4 и вертикаль $d - O_2$ границы элемента пути пересекались в одной точке D .

Для выбора первого интервала скорости на новом элементе профиля пути необходимо установить характер изменения скорости поезда – будет ли скорость поезда возрастать на этом элементе, снижаться или будет равномерной. С этой целью проведем из точки p , соответствующей g_i , вертикаль до пересечения с кривой $f_y(V)$ (точка r), от нее проведем горизонталь и найдем на оси OV равномерную скорость $V_{\text{рав}}$, к которой поезд будет стремиться на этом элементе профиля пути. Если окажется, что $V_{\text{рав}}$ меньше скорости в начале нового элемента пути V_0 , то в дальнейшем скорость будет снижаться и поэтому первый интервал скорости надо взять в сторону снижения от V_0 до V_1 ; если $V_{\text{рав}}$ больше V_0 , то скорость будет расти, и интервал скорости следует взять в сторону повышения; если $V_{\text{рав}}$ равна V_0 , то скорость будет равномерной и $\Delta V_0 = 0$ км/ч.

Если рассматриваемый подъем большой протяженности, то, достигнув равномерной скорости, поезд будет следовать с этой скоростью до конца подъема, что изображено линией K_4 . Во всех случаях при построении необходимо принимать интервалы скорости ΔV в пределах до 10 км/ч до выхода на гиперболическую часть тяговой характеристики локомотива и не более 5 км/ч после выхода. Если после подъема крутизной 8 ‰ следует подъем небольшой крутизны (1...2 ‰), то при движении в режиме тяги скорость может превысить наибольшую допустимую $V_{\text{доп}}$, а при движении в режиме холостого хода она может существенно снизиться, что нежелательно. В таких случаях необходимо производить построения кривой $V(S)$ (рисунок 8.3) в режиме тяги до момента достижения $V_{\text{доп}}$, затем в режиме холостого хода (при построении использовать диаграмму $w_{\text{ох}}(V)$, кривая 2) произойдет снижение скорости, желательно не более 15...20 км/ч, а затем снова включить ток и использовать диаграмму $f_y(V)$ (кривая 1). В результате дальнейших построений функция $V(S)$ принимает пилообразный вид $K - A - B - C - H$ (кривая 2).

Если за пределами подъема 2 ‰ лежит подъем или площадка, то согласно принципу максимума поезд должен иметь наибольшую допустимую скорость $V_{\text{доп}}$ в конце взятого 2 ‰-ного подъема. Графически это достигается встречными построениями линий $C - E$ и $D - H$ из точки D на границе элемента профиля пути и $V_{\text{доп}}$.

На первом спуске после станции отправления необходимо произвести испытания на эффективность действия тормозов. При этом скорость

снижается на 10 км/ч. Способ построения $V(S)$ в этом случае аналогичен тому, который показан далее на примере 9 ‰-ного спуска.

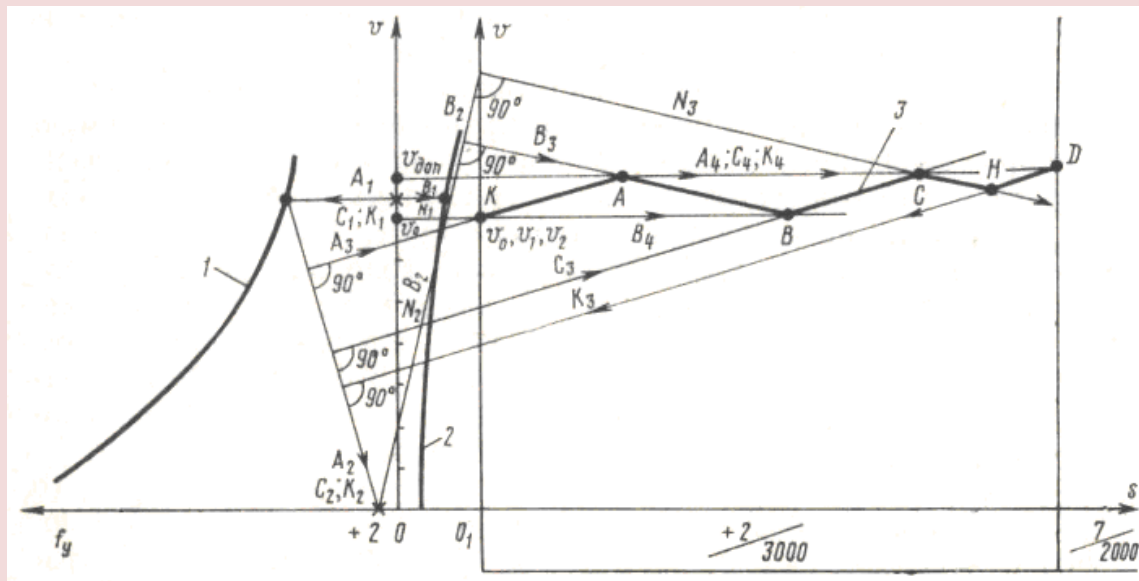


Рисунок 8.3 – Построение кривой скорости на подъеме малой крутизны

Если крутизна уклона не более -4 ‰ и поезд в режиме холостого хода стремится превысить $V_{\text{доп}}$, то можно произвести регулировочное торможение прямым тормозом (ПТ) локомотива, при котором равновесная скорость будет равна $V_{\text{доп}}$. В этом случае проводят горизонтальную линию на уровне $V_{\text{доп}}$ до конца элемента пути, как это показано на рисунке 8.4 линией A_4 .

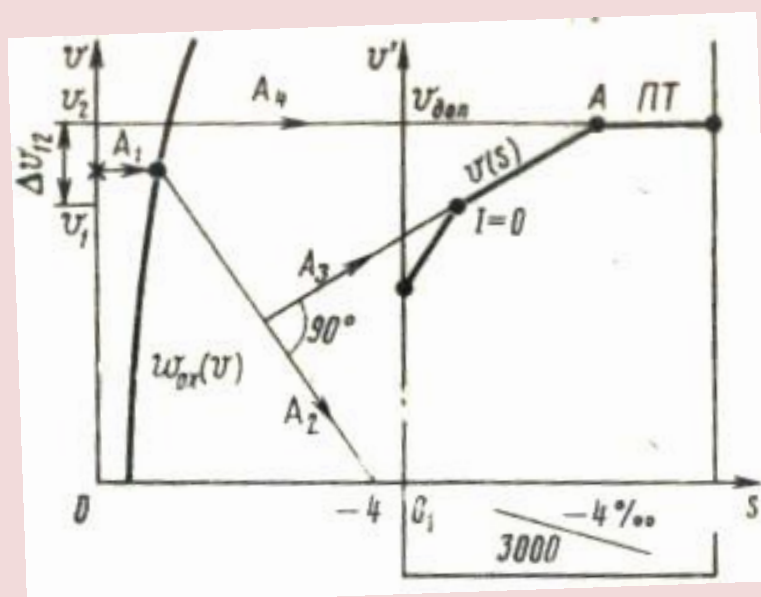


Рисунок 8.4 – Построение кривой скорости на «вредном» спуске

Если спуск более крутой (например, - 9 ‰ на рисунке 8.5), то для интервала скорости ΔV_0 при холостом ходе построение $V(S)$ (кривая 3) следует произвести по диаграмме $w_{\text{ох}}(V)$ (кривая 1) линиями $A_1 - A_2 - A_3 - A_4$ до пересечения с линией $V_{\text{доп}}$, а затем использовать диаграмму торможения (кривая 2) для построения линиями $B_1 - B_2 - B_3$ снижения скорости не более чем на 20 км/ч (точка $ТД$ – тормоза действуют).

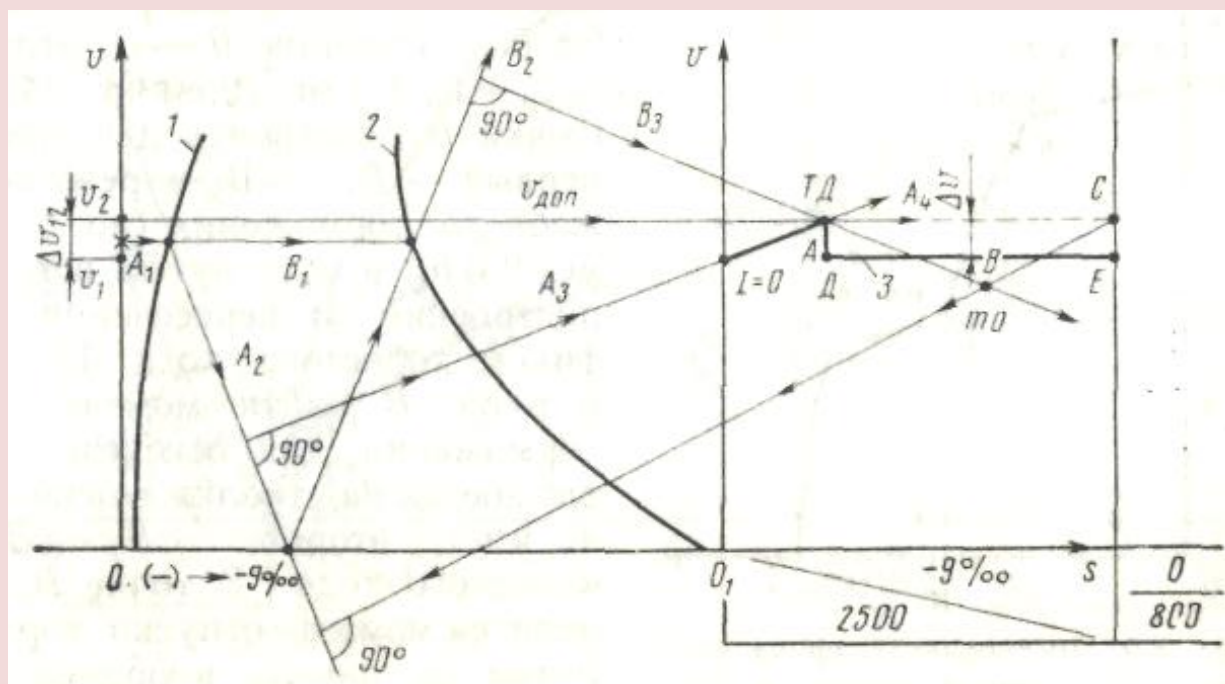


Рисунок 8.5 – Построение кривой скорости на спуске большой крутизны

Следует иметь в виду, что снижение скорости менее чем на 15...20 км/ч может быть ограничено временем, необходимым для последующего отпуска тормозов, а интервал скорости ΔV более 5 км/ч в диапазоне скоростей от 0 до 50 км/ч снижает точность расчетов. После торможения произведем отпуск тормозов (точка $ТО$ – тормоза отпущены) и снова воспользуемся диаграммами холостого хода $w_{\text{ох}}(V) = \varphi(V)$ и $(0,5 \cdot b_T + w_{\text{ох}}) = \varphi(V)$ для встречного построения $B - C$ от конца элемента профиля пути и луча B_3 из точка A .

В результате получится пилообразный график функции $V(S)$ при движении по спуску - 9 ‰.

Для сокращения графических построений пилообразную кривую $V(S)$ можно заменить ступенчатой $A - Д - E$, если воспользоваться значением поправки ΔV , представленной в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Значение поправки ΔV

Поезда	ΔV , км/ч, для спусков i_k , ‰							
	4	6	8	10	12	14	16	18
Грузовые	4	4	4	4	5	6	7	8

Примечание – На спусках до 4 ‰ значение ΔV принимают равным нулю.

Но в обоих случаях скорость при входе на следующий элемент профиля пути должна быть на уровне $V_{\text{доп}}$, что достигается встречным построением линии BC по диаграмме $w_{\text{ох}}(V)$ из точки пересечения $V_{\text{доп}}$ и границы элемента профиля пути.

Пример построений $V(S)$ при служебном торможении в случае приема поезда на главный путь показан на рисунке 8.6.

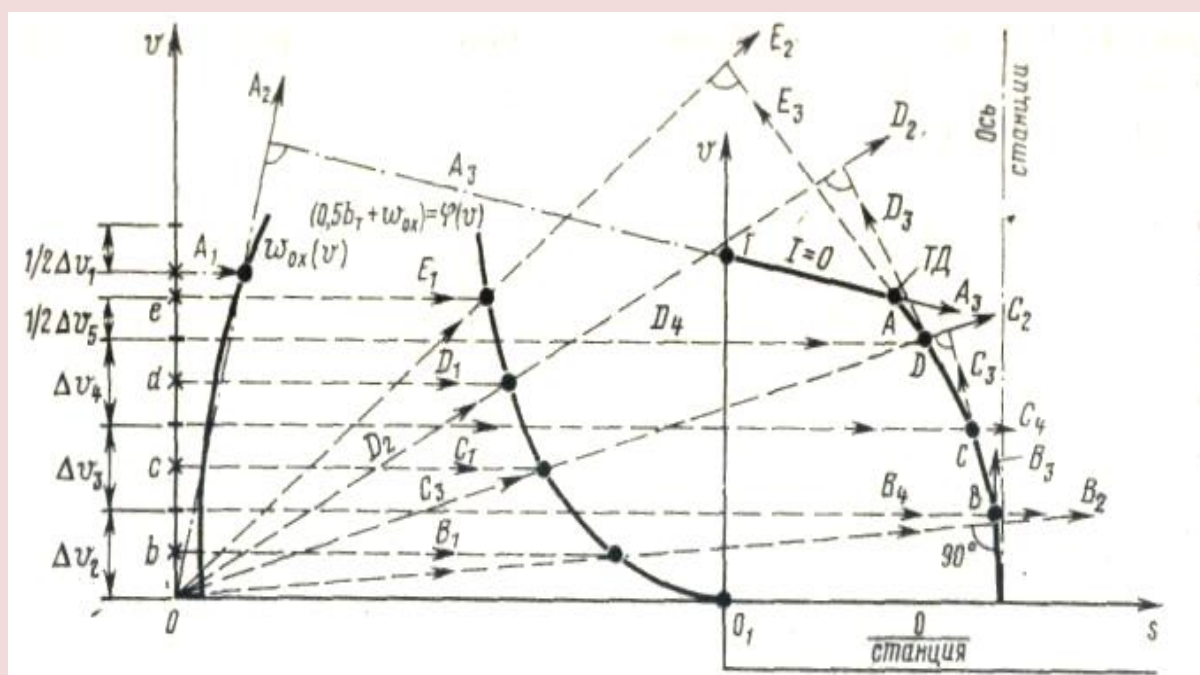
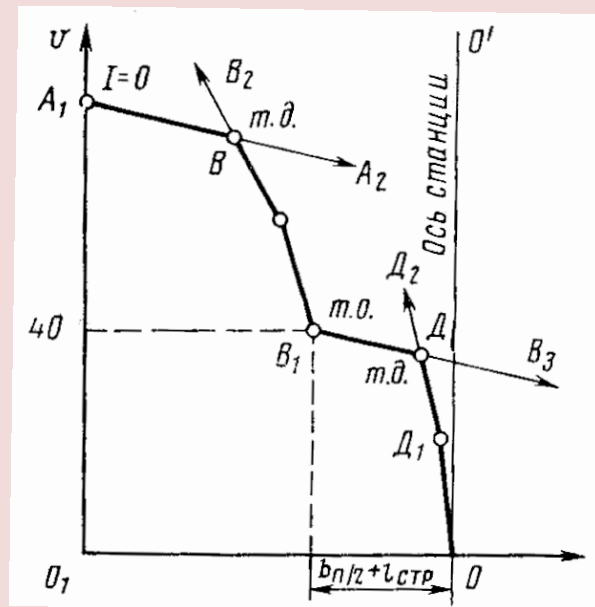


Рисунок 8.6 – Построение кривой скорости остановочного торможения на станции при приеме поезда на главный путь

При входе на станцию, если скорость была невысокой, выключается ток ($I = 0$ А) и для построения $V(S)$ используется диаграмма равнодействующих сил холостого хода $w_{\text{ох}}(V)$, в результате имеем линию $\Gamma - A$; далее от оси станции строим $V(S)$ по диаграмме равнодействующих сил служебного торможения $(0,5 \cdot b_t + w_{\text{ох}})$ до пересечения с линией холостого хода и в точке пересечения A находим момент начала торможения.

Порядок построений следующий. При входе центра массы поезда на границу станции (рисунок 8.7) необходимо выключить ток и построить линию $A_1 - A_2$ по диаграмме $w_{ox}(V)$.



От оси станции $0 - 0'$ отложить $(l_{\text{стр}} + l_{\text{п/2}})$ и от уровня $V = 40$ км/ч (точки B_1) построить два графика: *первый* $B_1 - B_2$ в режиме служебного торможения (по диаграмме $0,5 \cdot b_{\text{т}} + w_{\text{ок}}$) путем встречных построений до пересечения с графиком холостого хода $A_1 - A_2$ (в точке B найти момент начала торможения для обеспечения входа поезда на стрелки со скоростью 40 км/ч); *второй* $B_1 - B_2$ для холостого хода. В точке B_1 определится момент отпуска тормозов. Затем от начала координат O во встречном направлении построить график $O = D_1 - D_2 \dots$ режима служебного торможе-

ния и при пересечении с $B_1 - B_3$ в точке D найти момент начала торможения для остановки на станции.

Для расчета времени разгона и замедления поезда на промежуточных раздельных пунктах участка строят зависимости $V(S)$ в двух вариантах – с остановками на всех пунктах и без остановок.

Для построения кривой скорости движения поезда необходимо использовать следующие масштабы:

- для скорости движения – $m_v = 2 \text{ мм} / (\text{км/ч})$;
- для пути – $m_s = 40 \text{ мм} / (\text{км})$.

8.2 Построение кривой времени движения поезда

Кривой времени называют графическую зависимость $t(S)$ времени движения поезда от пройденного пути. Ее строят по имеющейся кривой скорости на том же листе миллиметровой бумаги. Результаты построения кривой в дальнейшем используют для составления графика движения поездов, расчета нагревания тяговых электрических машин и расхода энергоресурсов на поездку.

Согласно ПТР кривую времени хода необходимо строить способом Лебедева (способ МПС). Для этого слева от начала координат на расстоянии $\Delta = 30 \text{ мм}$ проводят вертикальную линию $O'O''$ (ось времени), как это показано на рисунке 8.7.

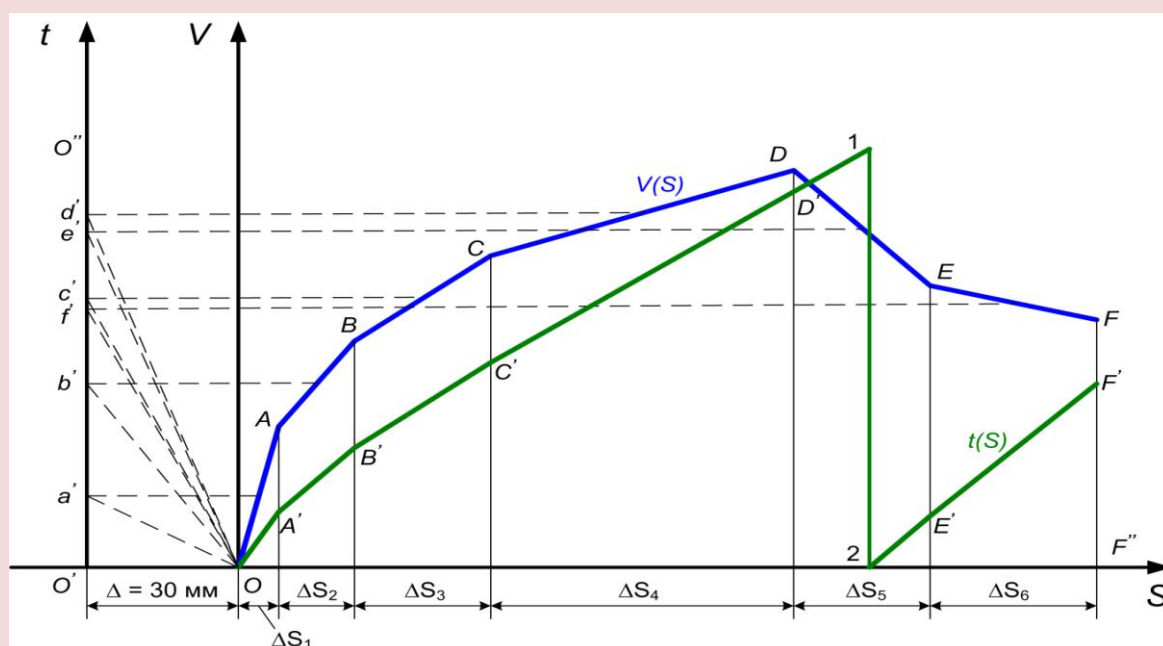


Рисунок 8.7 – Построение кривой времени хода поезда

Затем кривая скорости разбивается на отрезки OA , AB , BC и т.д. Середины отрезков проецируют на линию $O'O''$, получая точки a' , b' и т.д. К линии Oa' проводят перпендикуляр OA' , проходящий через начало координат. Этот отрезок представляет собой фрагмент кривой времени, соответствующий изменению скорости движения поезда на расстоянии ΔS_1 . Для второго отрезка пути ΔS_2 фрагмент кривой времени строится как перпендикуляр к отрезку Ob' , проходящий через A' – последнюю точку предыдущего отрезка кривой времени. Построения для последующих отрезков пути выполняются аналогично.

Из рисунка 8.7 видно, что построение кривой времени не зависит от направления изменения скорости движения, поскольку время изменяется только в сторону увеличения. Чтобы не выходить за пределы выбранного формата, кривую времени можно строить, например, в пределах 15 мин. После достижения этого значения (точка 1 на рисунке 8.7) продолжение кривой времени строят от нулевого значения (точка 2). Таким образом, легко посчитать время хода, включающее на рассматриваемом участке пути полные интервалы времени по 15 мин. Приплюсовав к полученному значению время, определяемое отрезком $F'F''$, получают время хода поезда по участку.

У точек пересечения кривой $t(S)$ с осями отдельных пунктов записываются времена хода поезда между двумя соседними отдельными пунктами (с точностью до 0,1 мин), а также общее время хода поезда по участку (например, $t_{AB} = 15,2$ мин, $t_{BB} = 18,6$ мин, $t_{AB} = 33,8$ мин).

Масштаб построения кривой времени движения поезда: $m_t = 10$ мм / мин.

9 Определение скорости и времени хода поезда по перегонам

9.1 Определение технической, участковой скорости и времени хода поезда по перегонам

После построения графика времени определяют время хода по перегонам и участковую скорость движения поезда по перегонам А – Б (Б – А) и Б – В (В – Б), а также техническую скорость поезда на участке А – В. Все данные заносят в таблицу 9.1, причем расчётные значения времени берут по кривой $t(S)$ с точностью до 0,1 мин, а принятое время для графика движения округляют до целых минут в большую сторону.

Таблица 9.1 – Время хода поезда по перегонам

Пере- гоны	Длина, км	Время, мин			
		Без остановки		С остановкой	
		По расчёту	Принятое для графика движения	По расчёту	Принятое для графика движения
А (В) – Б	...	...	...	...	...
Б – В (А)	...	...	...	...	...
Всего	32,95	...	...	...	...

Техническая скорость поезда на участке V_t , км/ч, определяется по следующей формуле

$$V_t = \frac{60 \cdot L_{уч}}{T_{чх}}, \quad (9.1)$$

где $L_{уч}$ – длина участка А-Б-В, $L_{уч} = 32,95$ км;

$T_{чх}$ – чистое время хода поезда по участку, мин.

Участковая скорость движения поезда $V_{уч}$, км/ч, определяется по следующей формуле

$$V_{уч} = \frac{60 \cdot L_{уч}}{T_{чх} + T_{ст}}, \quad (9.2)$$

где $T_{уч}$ – полное время нахождения поезда на участке, мин;

$T_{ст}$ – время стоянки поезда на промежуточной станции, мин.

10 Определение расхода энергоресурсов на тягу поездов

10.1 Построение кривых тока

Для определения расхода электроэнергии электровозом необходимо построить кривую тока, потребляемого им.

При построении кривой тока следует руководствоваться кривой скорости $V(S)$ и токовой характеристикой: $I_0(V)$ – для электровозов постоянного тока, $I_{da}(V)$ – для электровозов переменного тока.

Токовые характеристики электровозов приведены в приложении Г. Токовую характеристику заданного электровоза необходимо аккуратно вычертить на миллиметровой бумаге и привести в курсовой работе.

Найденные значения тока для переломных точек кривой $V(S)$ наносятся в масштабе на график, на котором уже построены кривые $V(S)$ и $t(S)$, для вариантов движения поезда с остановкой и без остановки на промежуточной станции. Нанесенные точки соединяются прямыми линиями. Получают кривую $I_0(S)$.

В местах выключения тока кривую обрывают и проводят вертикально вниз до нуля. Включение тока показывается вертикальной линией от нуля до значения тока, соответствующего скорости движения поезда в данной точке пути.

10.2 Расчет полного и удельного расхода электроэнергии

Расчет расхода электроэнергии выполняют, используя построенные ранее кривые скорости $V(S)$, времени $t(S)$ и тока нагрузки электровоза постоянного тока $I_0(V)$ или $I_{da}(V)$ для электровозов переменного тока.

Все расчёты по определению расхода электроэнергии следует свести в таблицу 10.1.

Таблица 10.1 – Результаты расчета расхода электроэнергии

Участок кривой тока	$I_{эн},$ А	$I_{эк},$ А	$I_{эср},$ А	$\Delta t,$ мин	$I_{ср} \cdot \Delta t,$ А·мин
1	2	3	4	5	6
<i>Без остановки на промежуточной станции Б</i>					

Продолжение таблицы 10.1

1	2	3	4	5	6
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
Всего на перегоне А (В) – Б					$\sum_1^n (I_{эср} \cdot \Delta t_i)$
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
Всего на перегоне Б – В (А)					$\sum_1^n (I_{эср} \cdot \Delta t_i)$
Итого на участке А (В) – В (А)					$\sum_1^n (I_{эср} \cdot \Delta t_i)$
<i>С остановкой на промежуточной станции Б</i>					
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
Всего на перегоне А (В) – Б					$\sum_1^n (I_{эср} \cdot \Delta t_i)$
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
Всего на перегоне Б – В (А)					$\sum_1^n (I_{эср} \cdot \Delta t_i)$
Итого на участке А (В) – В (А)					$\sum_1^n (I_{эср} \cdot \Delta t_i)$

Расход электроэнергии на собственные нужды $A_{сн}$, кВт·ч, определяют исходя из энергии, которую потребляют вспомогательные машины за 1 мин, по формуле

$$A_{сн} = a_{сн} \cdot t_x, \quad (10.1)$$

где $a_{сн}$ – удельный расход на собственные нужды, кВт·ч/мин;

t_x – время хода по участку, мин.

Удельный расход электроэнергии на собственные нужды, потребляемой вспомогательными машинами одного электровоза, приведен в таблице 10.2.

Таблица 10.2 – Удельный расход электроэнергии электровозами
на собственные нужды

Серия электровоза	Потребление электроэнергии на собственные нужды, кВт·ч/мин
ВЛ8	1,67
ВЛ10, ВЛ10 ^У	2,08
ВЛ11 (2 секции)	2,08
ВЛ11 (3 секции)	3,12
ВЛ22 ^М	0,83
ВЛ23	1,25
ВЛ80 ^К	4,83
ВЛ80 ^Т , ВЛ80 ^С , ВЛ85	5,50

Расход электрической энергии, потребляемой тяговыми электродвигателями A_T , кВт·ч, определяется по следующим выражениям:

– для электровозов постоянного тока

$$A_T = \frac{U_c \sum_{i=1}^n (I_{\text{эсп}} \cdot \Delta t_i)}{60 \cdot 1000}, \quad (10.2)$$

где U_c – напряжение на токоприемнике электровоза, $U_c = 3000$ В;

$I_{\text{эсп}}$ – среднее значение тока электровоза, равное полусумме токов в начале и конце i -го отрезка графика тока, А;

Δt_i – промежуток времени, в течение которого поезд прошёл i -й отрезок, мин;

– для электровозов переменного тока

$$A_T = \frac{U_c \sum_{i=1}^n (I_{\text{да сп}} \cdot \Delta t_i)}{60 \cdot 1000}, \quad (10.3)$$

где U_c – напряжение на токоприемнике электровоза, $U_c = 25000$ В;

$I_{da\ cr}$ – среднее значение действующего активного тока электровоза, равное полусумме токов в начале и конце i -го отрезка графика тока, А.

Полный расход электроэнергии на тягу поезда A , кВт·ч, определяется по формуле

$$A = A_{сн} + A_{т}. \quad (10.4)$$

Удельный расход электроэнергии a , кВт·ч/(10 тыс. т·км), подсчитывают по формуле

$$a = \frac{A \cdot 10^4}{m_n \cdot L}, \quad (10.5)$$

где L – длина участка, $L = 32,95$ км;

m_n – масса поезда ($m_n = m_c + m_3$), т.

Результаты расчета по расходу электроэнергии свести в таблицу 10.3.

Таблица 10.3 – Расход электроэнергии

Перегоны	Длина, км	Движение без остановки		Движение с остановкой	
		A_t , кВт·ч	a , кВт·ч/(10 ⁴ т·км)	A_t , кВт·ч	a , кВт·ч/(10 ⁴ т·км)
А (В) – Б	...				
Б – В (А)	...				
Всего	32,95				

На основании расчетных значений определяют разницу в расходе электроэнергии при движении с остановкой на промежуточной станции и без остановки и рассчитывают экономию средств за счет снижения расхода электрической энергии при безостановочном движении поезда. Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии на тягу поезда принять на момент выполнения курсовой работы.

11 Оценка полученных результатов тяговых расчетов

В данном разделе курсовой работы необходимо произвести сравнительную оценку полученных результатов тяговых расчетов для обоих вариантов движения поезда по участку. Анализ результатов заключается в выявлении режимов ведения поезда, обеспечивающих получение наименьшего времени хода, и режимов, обеспечивающих наименьший расход электроэнергии при разгоне, движении с установившейся скоростью и замедлении до полной остановки поезда на промежуточной станции или станции назначения. На основе оценки полученных результатов тяговых расчетов делается вывод о возможности получения наименьшего расхода электроэнергии при соблюдении полученного времени хода.

Очевидно, что для повышения пропускной способности необходимо снижать время хода по участку, а следовательно, повышать среднюю скорость поезда. Для получения наибольшей средней скорости движения требуется наибольшая возможная результирующая сила, которая получается в тяговом режиме при работе с наибольшим тяговым усилием (с учетом ограничения силы тяги по сцеплению колес с рельсами). Движение с наибольшей возможной силой тяги до конца элемента профиля пути или до точки пути, где скорость движения достигает допустимого значения, и дальнейшее движение со скоростью, близкой к допустимой, обеспечивают наибольшую возможную скорость в конце рассматриваемого элемента профиля пути, тем самым создаются условия для получения наименьшего времени хода на следующем элементе.

Следует учитывать, что уменьшение времени хода, как правило, сопровождается увеличением расхода электроэнергии, т.к. для поддержания скорости около допустимого значения чаще всего приходится чередовать режимы тяги и торможения, а режим выбега, в котором поезд расходует только собственную накопленную энергию, будет использоваться значительно реже. В связи с этим экономически целесообразно снижать время хода за счет увеличения допустимой скорости движения и снижения количества и времени стоянок поезда.

Список использованных источников

1. **Правила** тяговых расчетов для поездной работы [Текст]. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
2. **Кузьмич, В.Д.** Теория локомотивной тяги [Текст]: учеб. для ст-тов вузов ж.-д. транспорта / В.Д. Кузьмич, В.С. Руднев, С.Я. Френкель – М.: Маршрут, 2005. – 447 с.
3. **Осипов, С.И.** Теория электрической тяги [Текст]: учеб. для ст-тов вузов ж.-д. транспорта / С.И. Осипов, С.С. Осипов, В.П. Феоктистов. – М.: Маршрут, 2006. – 436 с.
4. **Деев, В.В.** Тяга поездов [Текст]: учеб. пособие для вузов / В.В. Деев, Г.А. Ильин, Г.С. Афонин. – М.: Транспорт, 1987. – 264 с.
5. **Бегагоин, Э.И.** Тяга поездов [Текст]: метод. пособие к лекц. курсу по дисциплине «Тяга поездов» для ст-тов всех форм обучения специальностей 190701 «Управление процессами перевозок», 280102 «Безопасность технологических процессов и производств» и 280202 «Инженерная защита окружающей среды» / Э.И. Бегагоин, Н.О. Фролов, И.Н. Пампурин. – Екатеринбург: УрГУПС, 2006. – 43 с.
6. **Бегагоин, Э.И.** Тяговые расчеты поездной работы на электрифицированном участке [Текст]: метод. рук-во к курсовому проекту по дисциплине «Теория электрической тяги» для ст-тов специальности 190330 «Электрический транспорт железных дорог» / Э.И. Бегагоин, И.Н. Пампурин, В.Я. Шамаева. – Екатеринбург: УрГУПС, 2006. – 24 с.
7. **СТВ 2.5.1.17-2007** Система менеджмента качества. Стандарт предприятия (УрГУПС): «Дипломное проектирование. Требования к выполнению и представлению. Правила оформления» / Введ. 29.06.07. – Екатеринбург: УрГУПС, 2007. – 69 с.

Приложение А

(справочное)

Пример оформления титульного листа

Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Филиал Уральского государственного университета путей сообщения
Челябинский институт путей сообщения

Кафедра электротехнических дисциплин

ТЯГОВЫЕ РАСЧЕТЫ ДЛЯ ПОЕЗДНОЙ РАБОТЫ ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГЕ

Пояснительная записка к курсовой работе
по дисциплине «Тяга поездов»

Проверил
ст. преподаватель
Катосонов И.В.

Выполнил
студент группы Д-3
Иванов Н.В.
шифр: Д/К – 1870

22.12.07


Челябинск
2007

Приложение Б

(справочное)

Основные технические данные электровозов

Серия электровоза	$F_{кр}$, кН	$F_{ктр}$, кН	V_p , км/ч	m_z , т	l_z , м	V_k , км/ч	Тип ТЭД
ВЛ8	456	595	43,3	184	28	100	НБ-406
ВЛ10	451	614	46,7	184	33	100	ТЛ2К1
ВЛ10У	492	667	45,8	200	33	100	ТЛ2К1
ВЛ22 ^М	343	378	35,5	132	16	80	НБ-411
ВЛ23	342	446	43,3	138	17	100	НБ-406
ВЛ11 (2 секции)	451	614	46,7	184	33	100	ТЛ2К1
ВЛ11 (3 секции)	676	921	46,7	276	50	100	ТЛ2К1
ВЛ80К	481	649	44,5	184	33	110	НБ-418К
ВЛ80С (2 секции)	501	678	43,5	190	33	110	НБ-418К
ВЛ80Т	512	678	37,2	190	33	110	НБ-418К
ВЛ85	726	1050	49,1	276	45	110	НБ-514

Приложение В

(справочное)

Расчетные тяговые характеристики электровозов

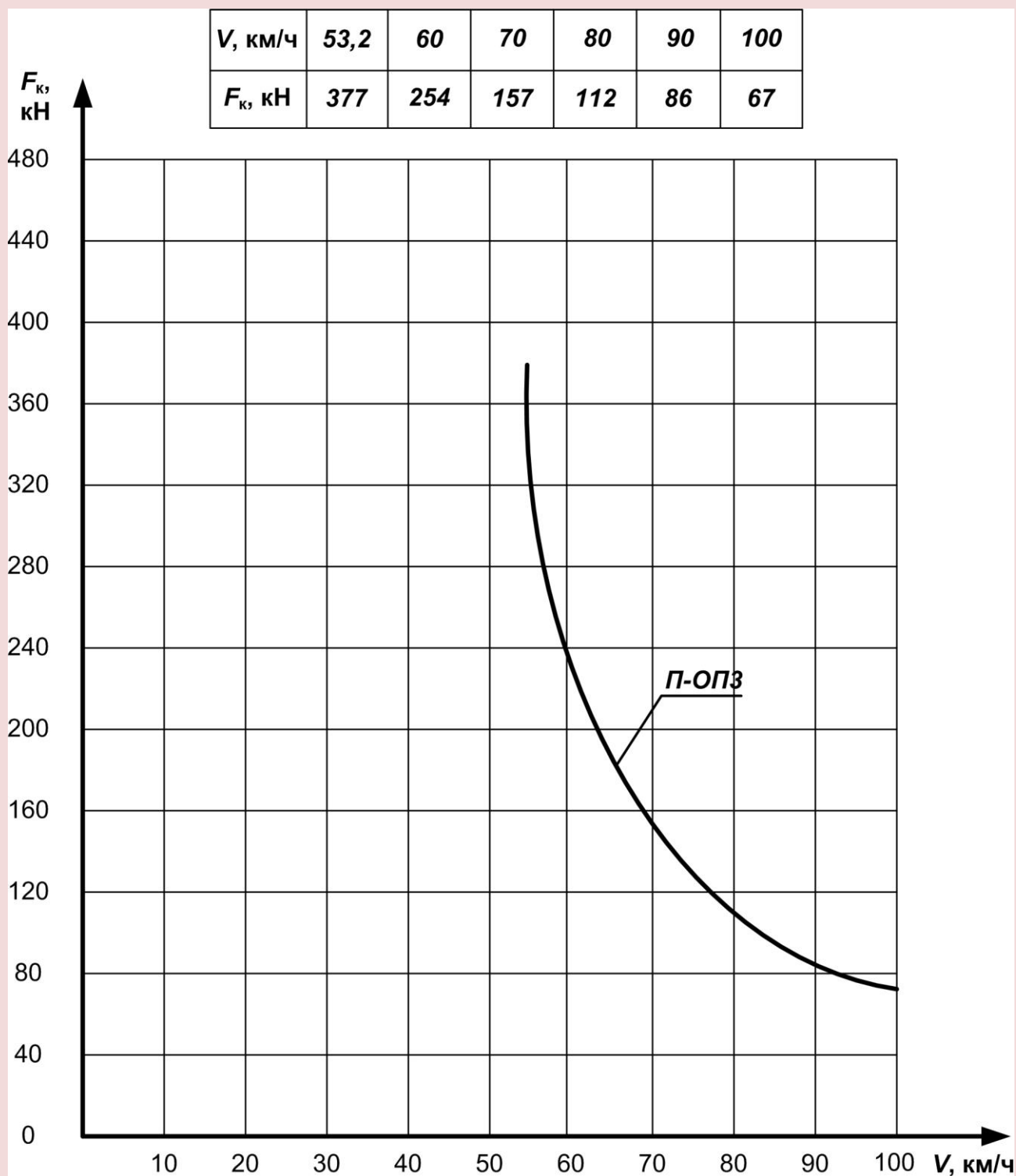


Рисунок В.1 – Расчетная тяговая характеристика электровоза ВЛ8

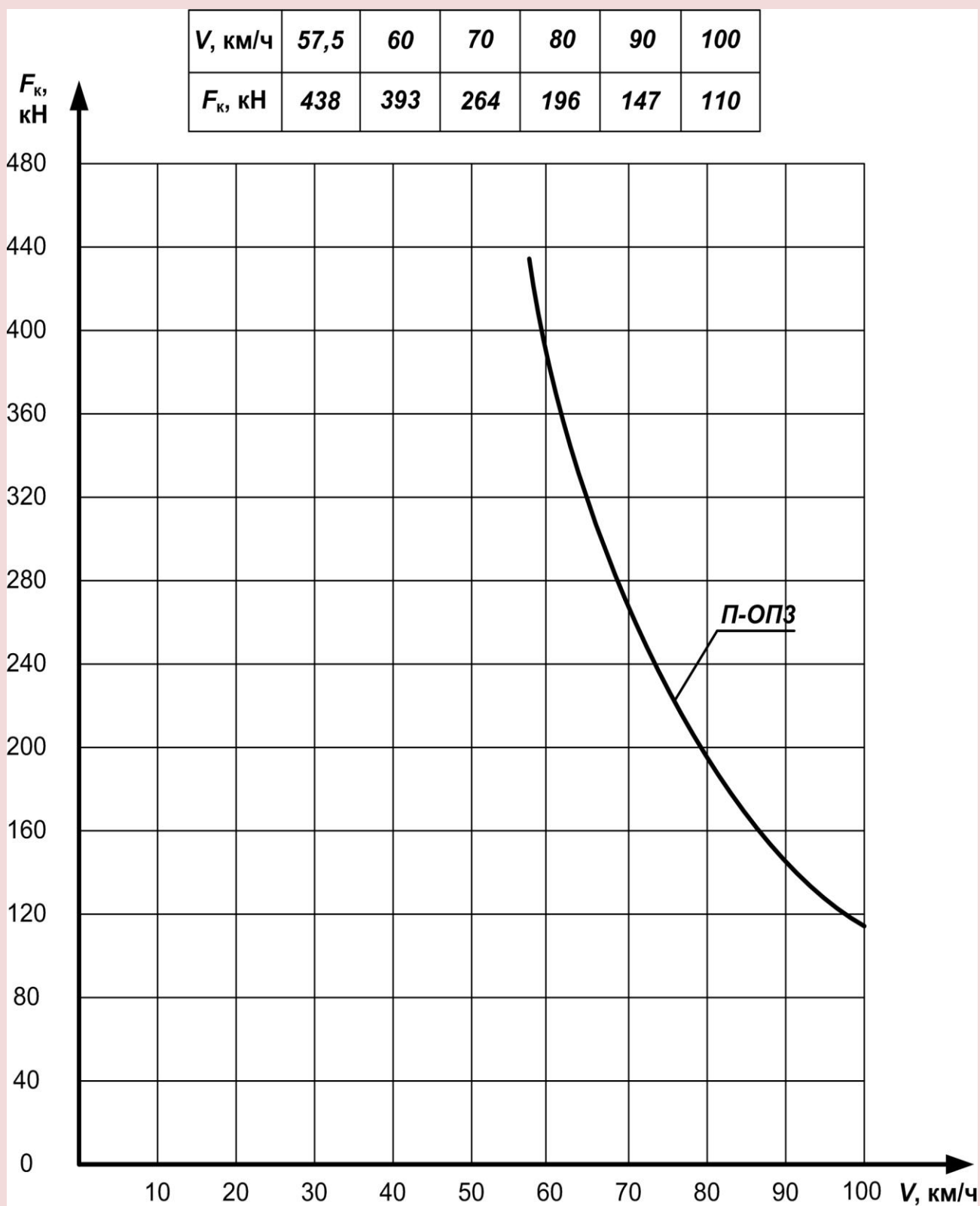


Рисунок В.2 – Расчетная тяговая характеристика электровоза ВЛ10

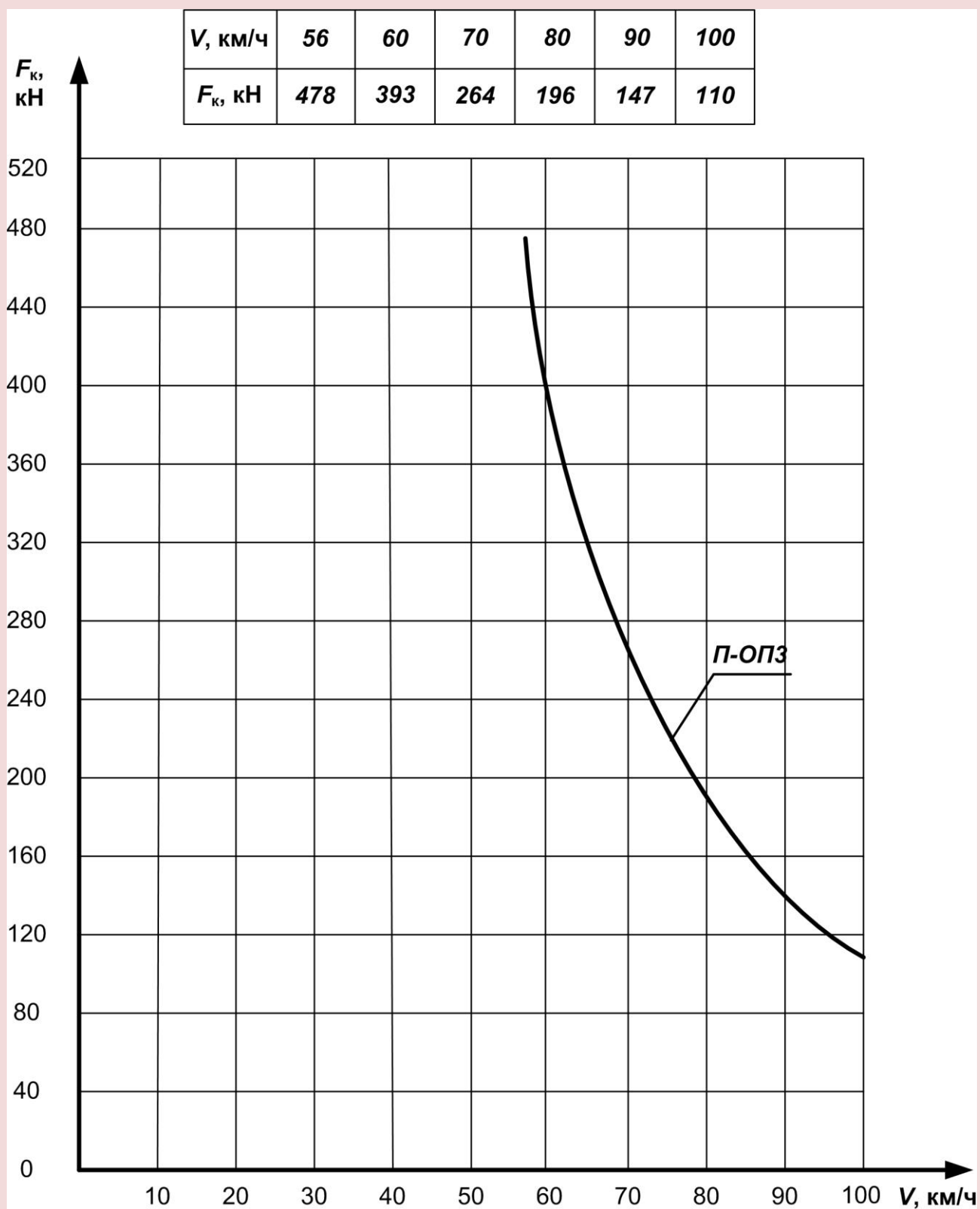


Рисунок В.3 – Расчетная тяговая характеристика электровоза ВЛ10^у

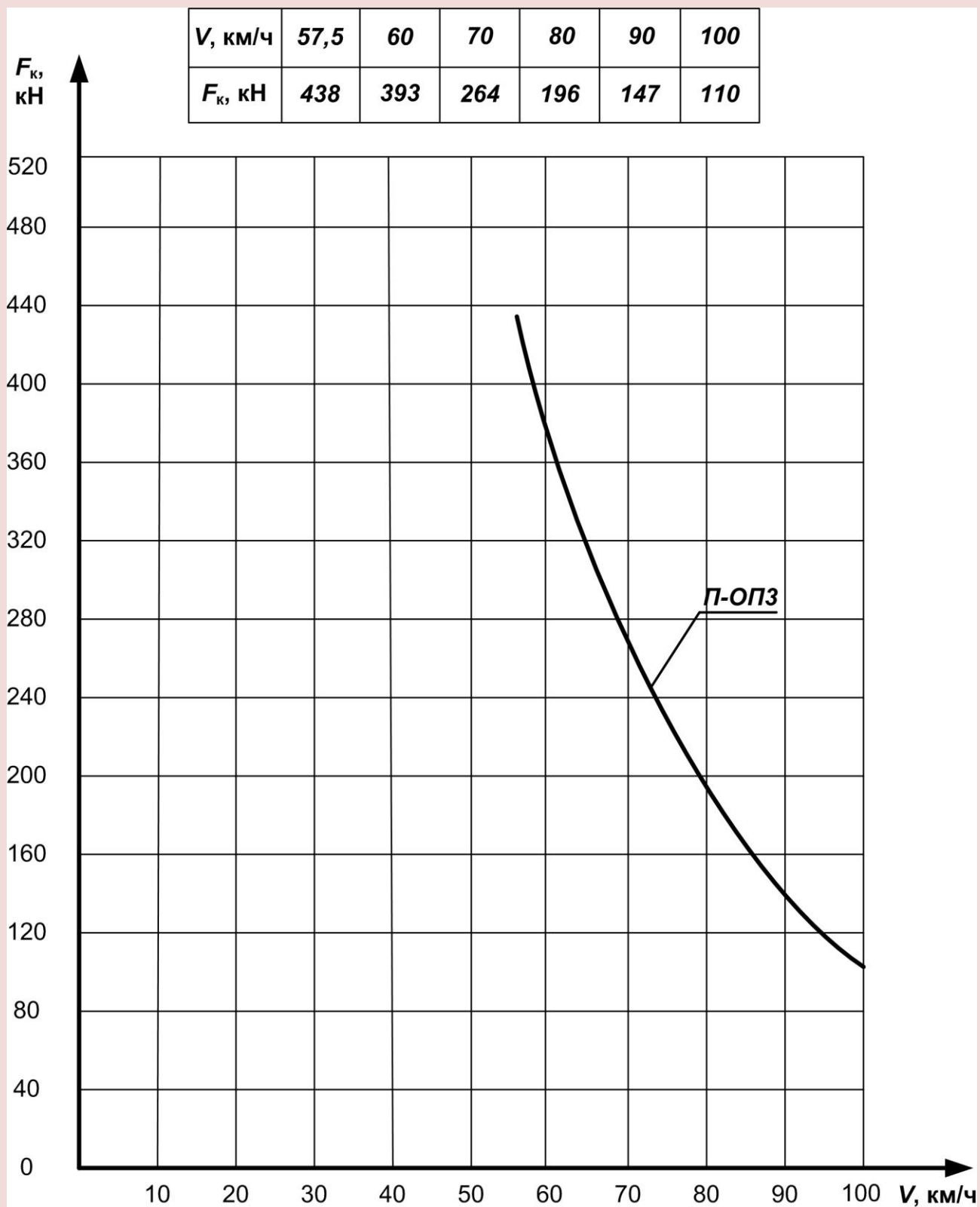


Рисунок В.4 – Расчетная тяговая характеристика электровоза ВЛ11
(2 секции)

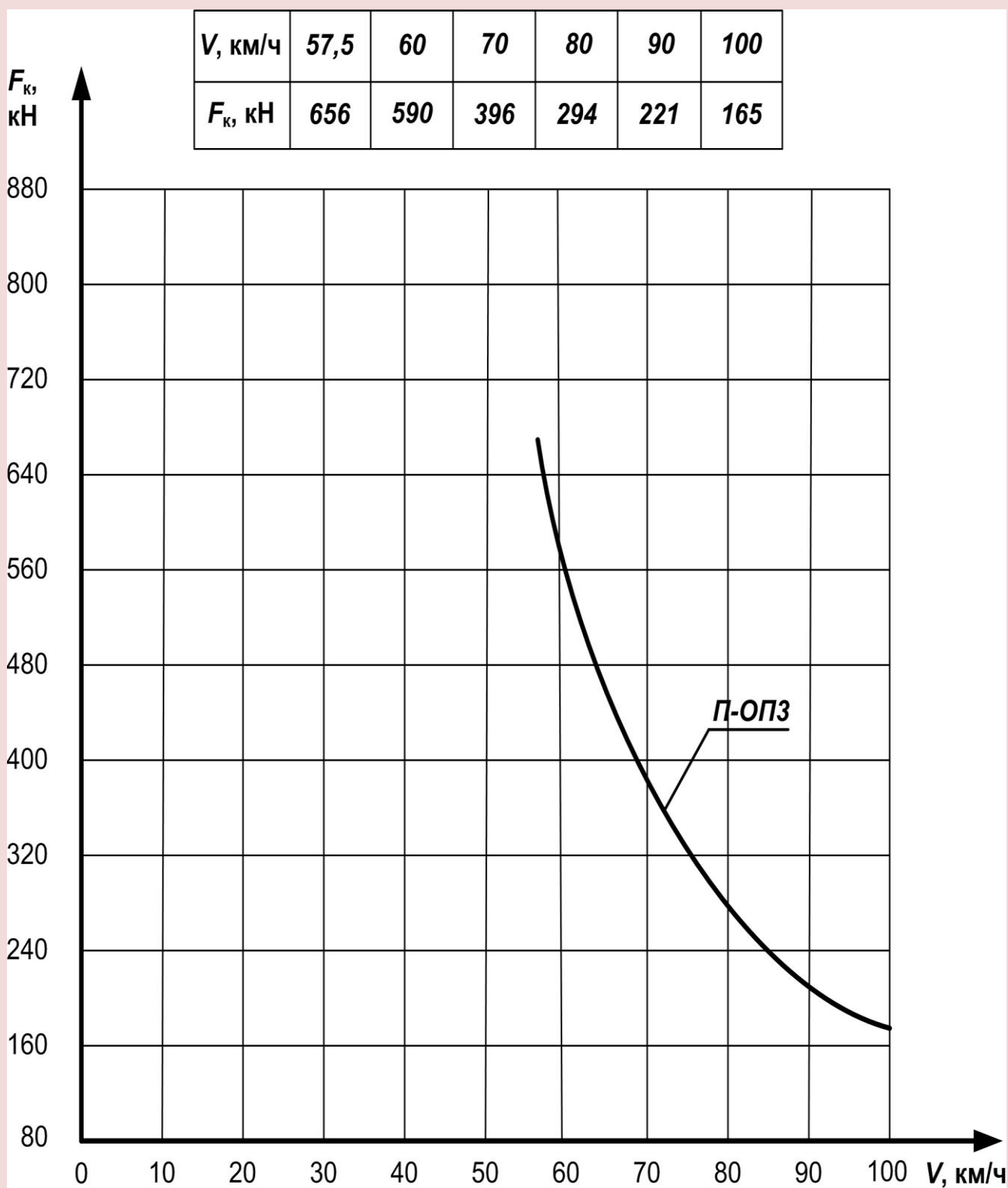


Рисунок В.5 – Расчетная тяговая характеристика электровоза ВЛ11
(3 секции)

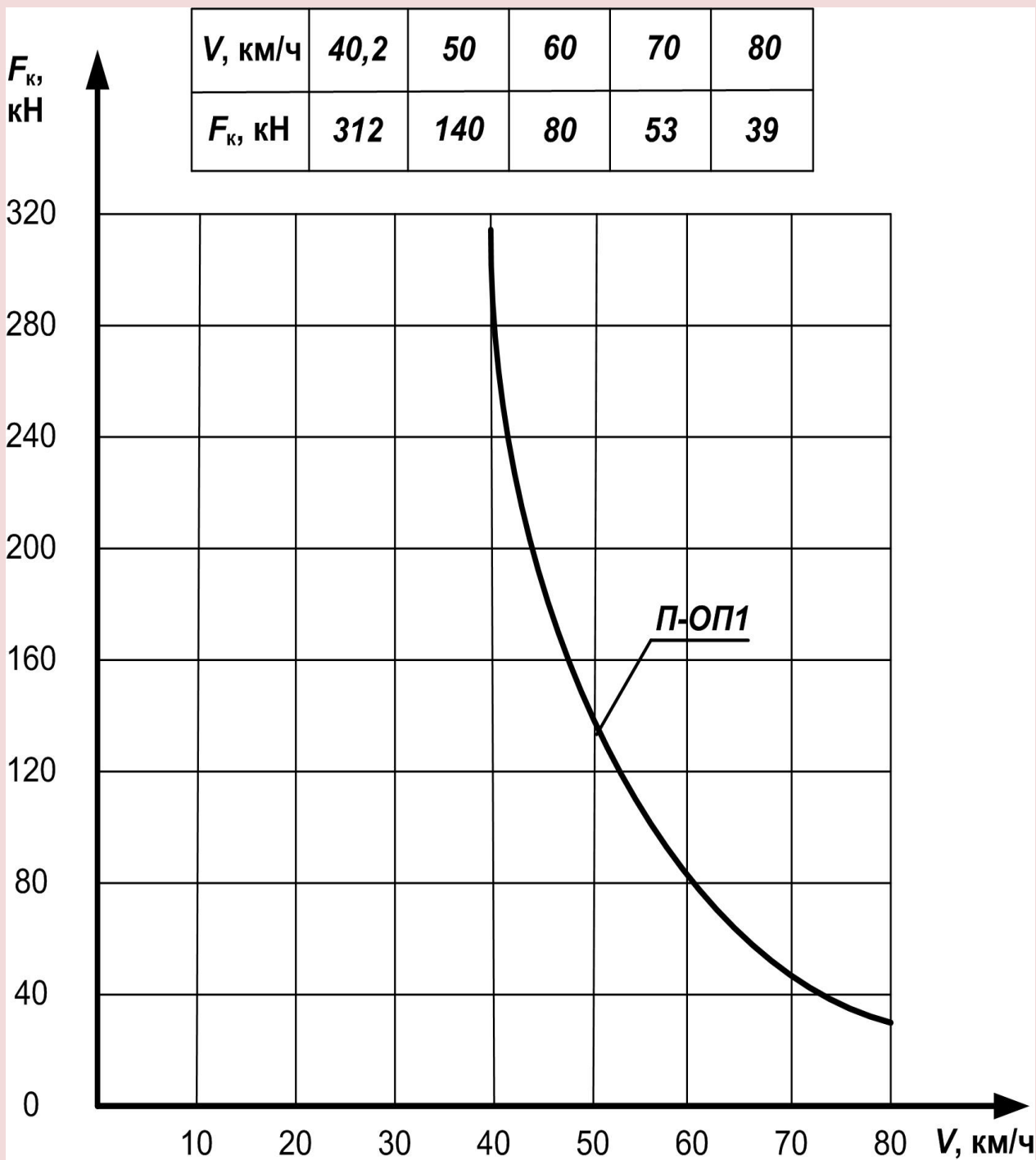


Рисунок В.6 – Расчетная тяговая характеристика электровоза ВЛ22^М

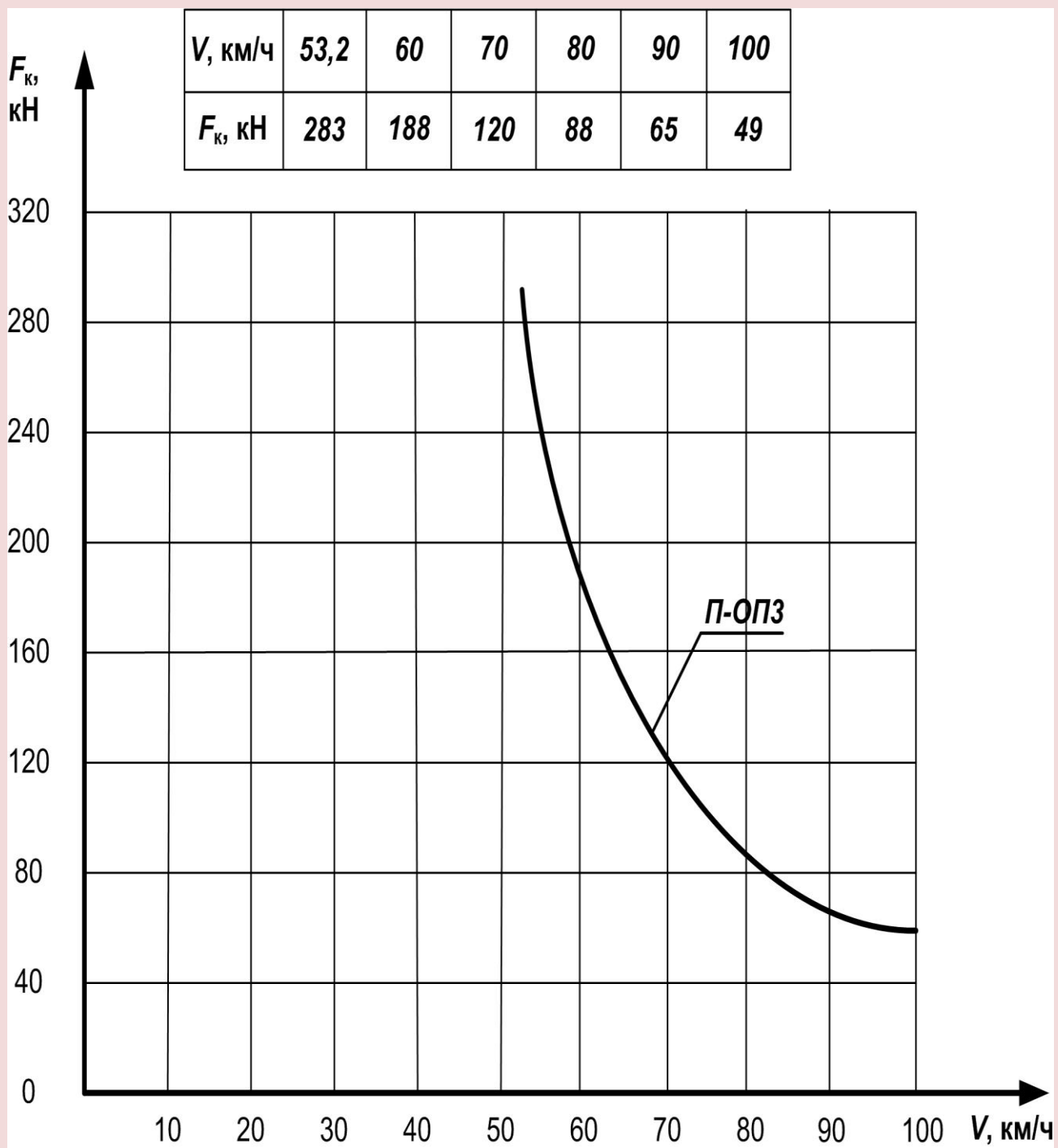


Рисунок В.7 – Расчетная тяговая характеристика электровоза ВЛ23

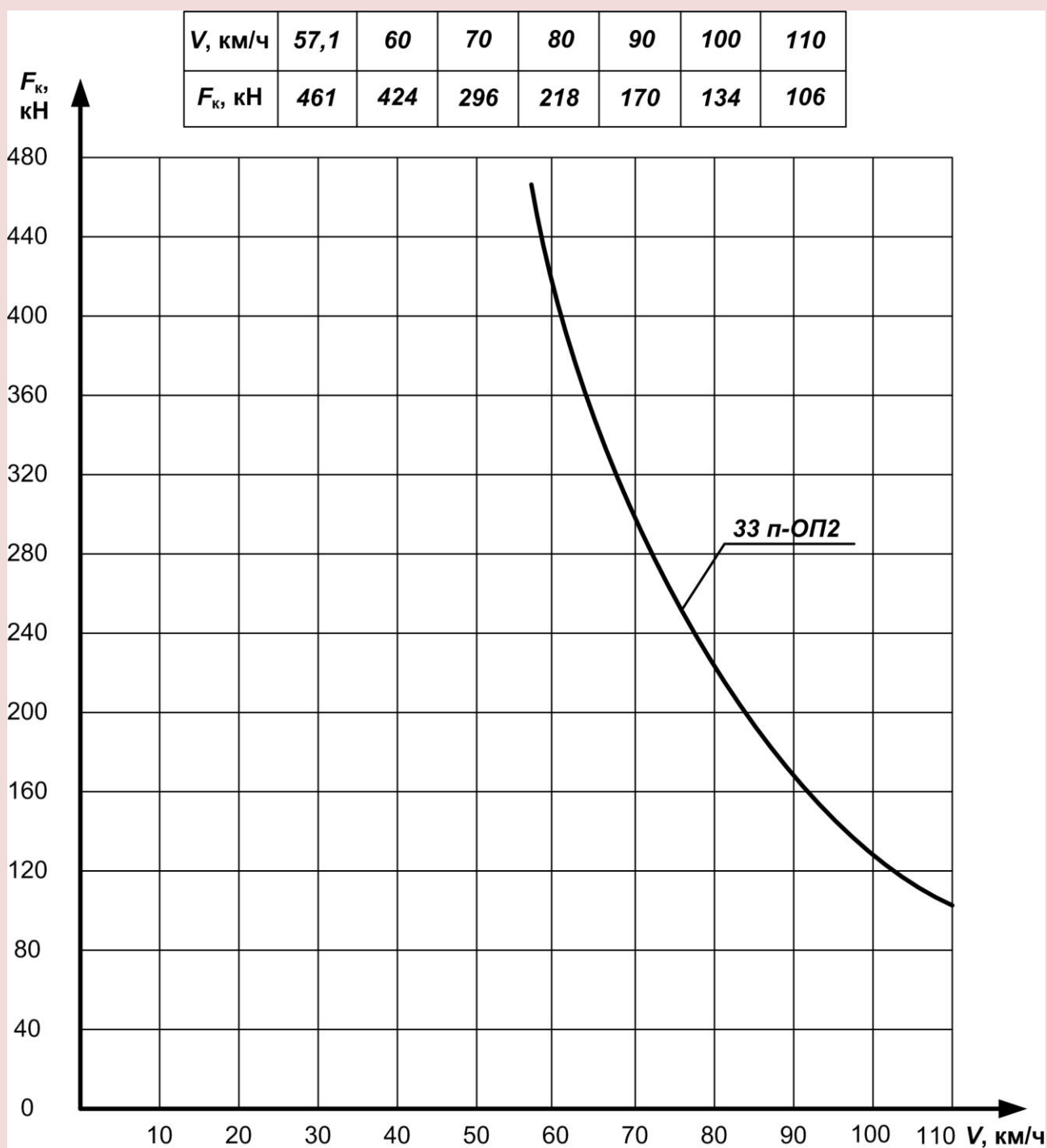


Рисунок В.8 – Расчетная тяговая характеристика электровоза ВЛ80^К

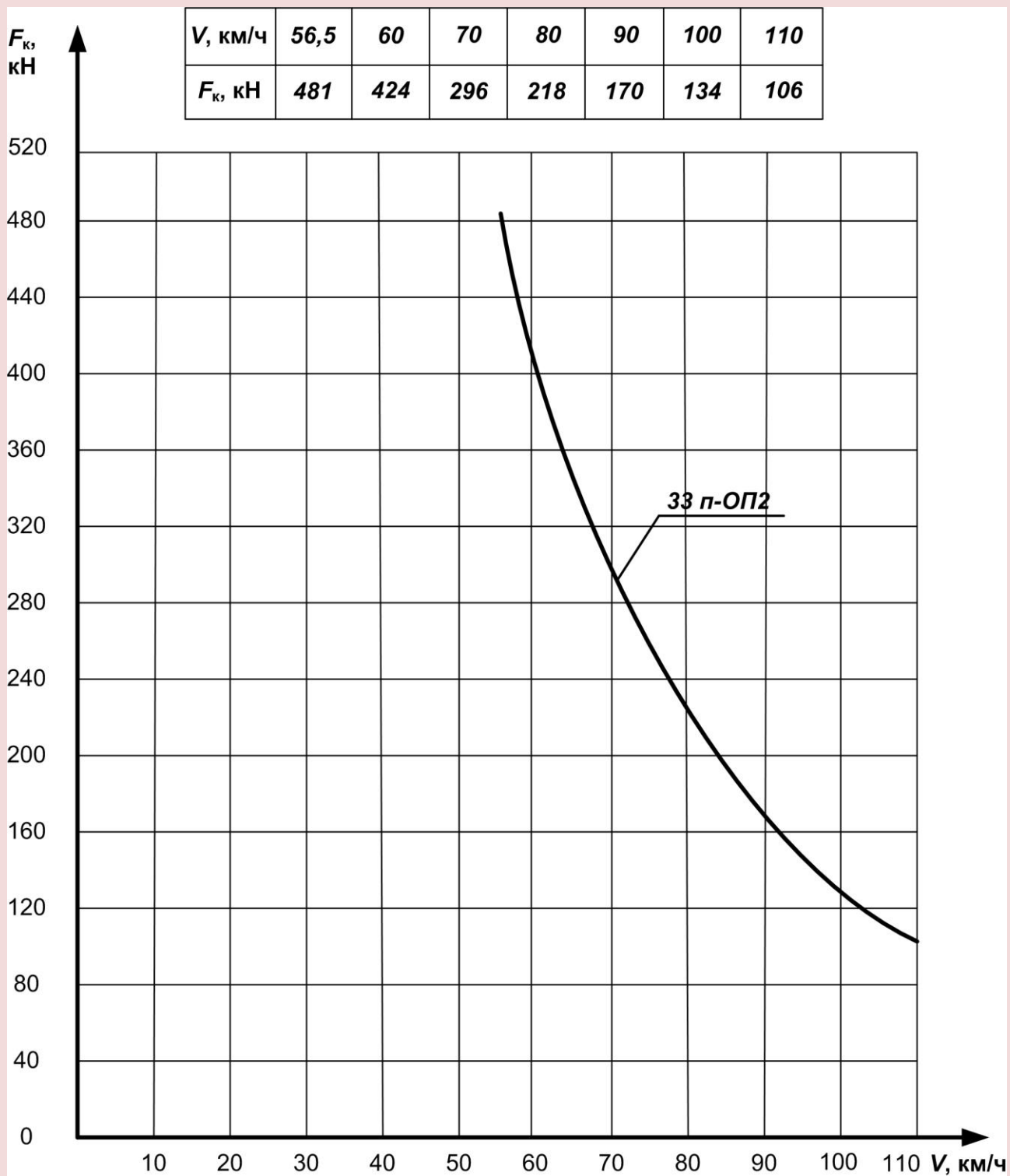


Рисунок В.9 – Расчетная тяговая характеристика электровоза ВЛ80^С, ВЛ80^Т

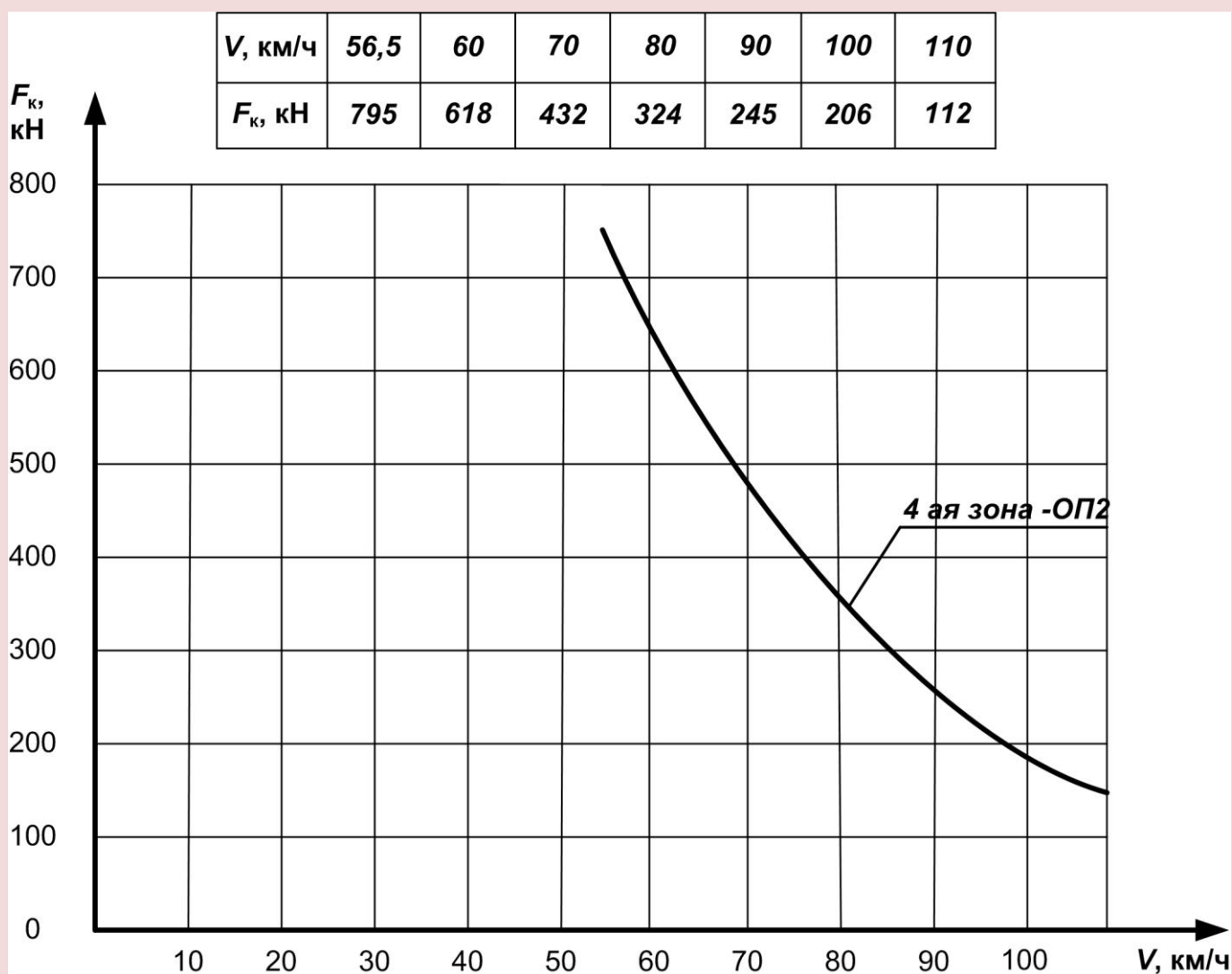


Рисунок В.10 – Расчетная тяговая характеристика электровоза ВЛ85

Приложение Г

(справочное)

Токовые характеристики электровозов

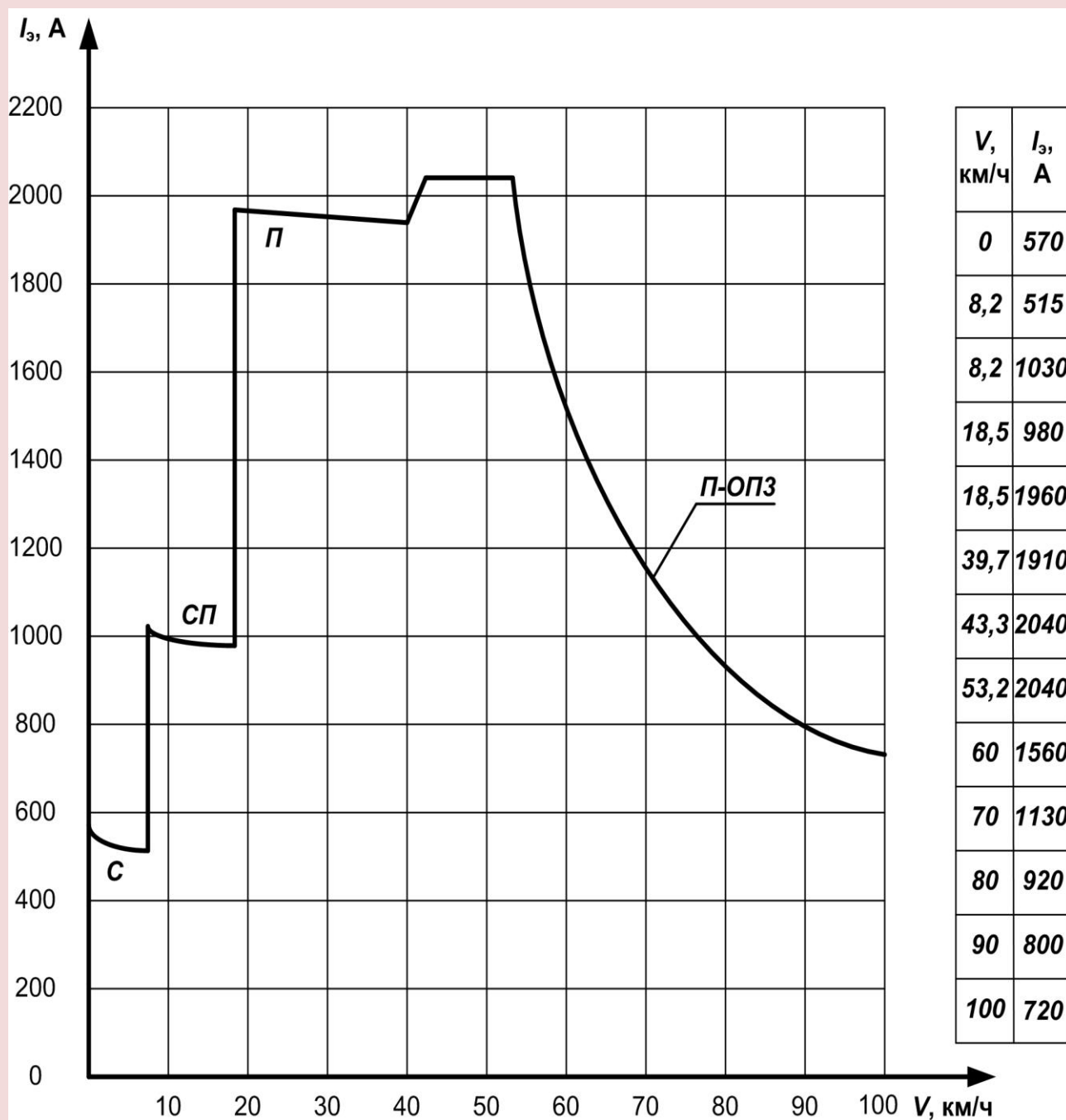


Рисунок Г.1 – Токовая характеристика электровоза ВЛ8

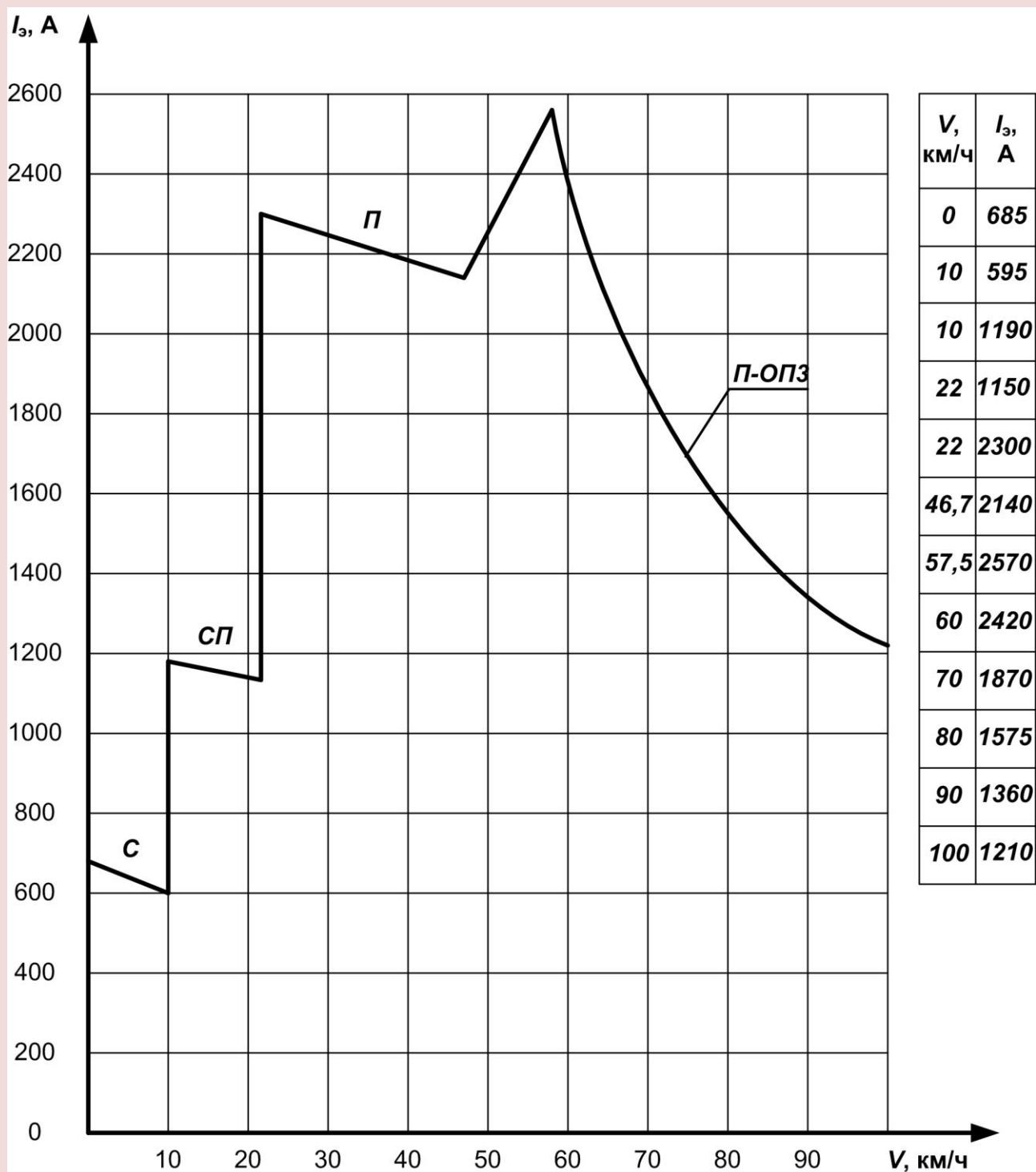


Рисунок Г.2 – Токовая характеристика электровоза ВЛ10

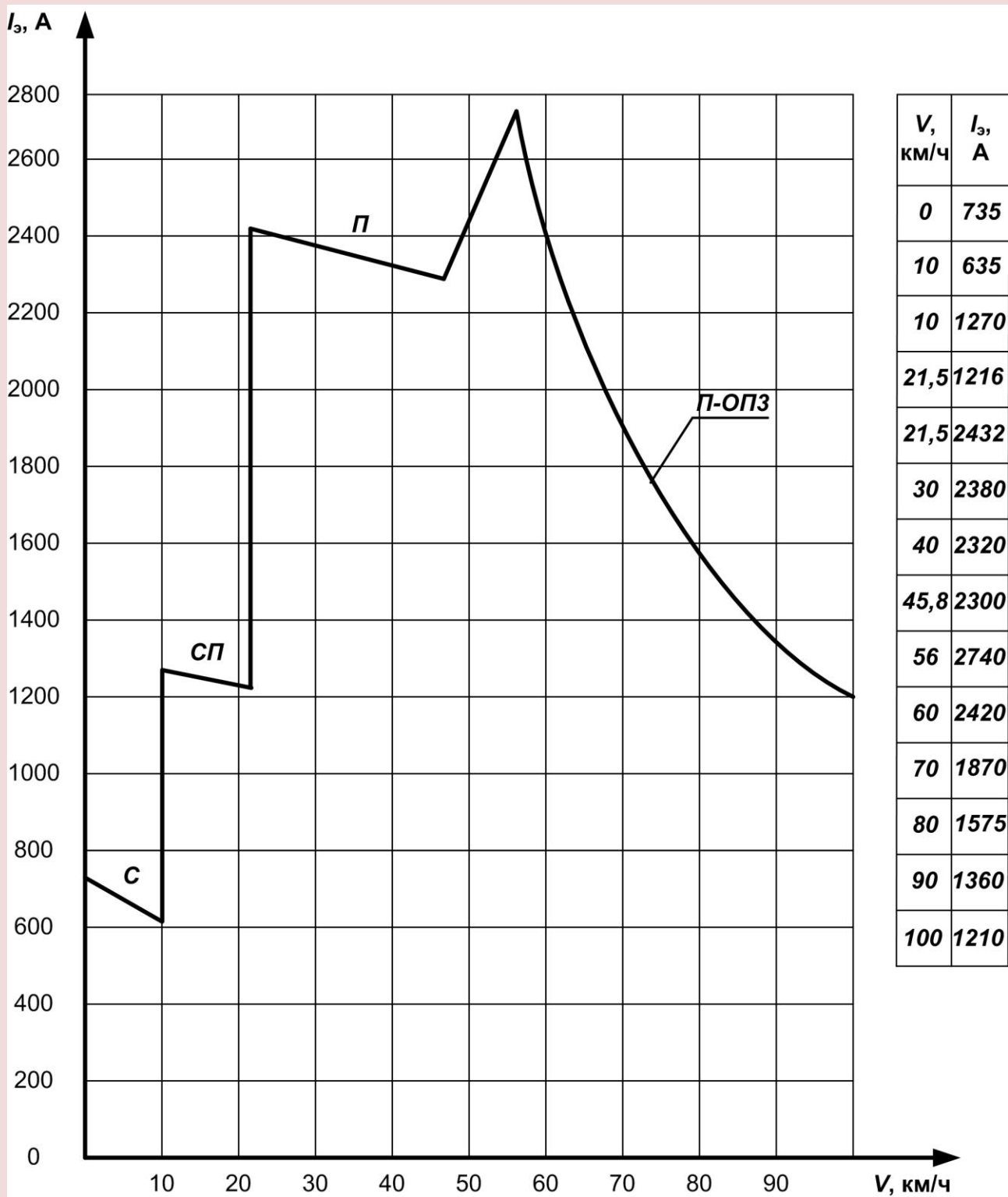


Рисунок Г.3 – Токовая характеристика электровоза ВЛ10У

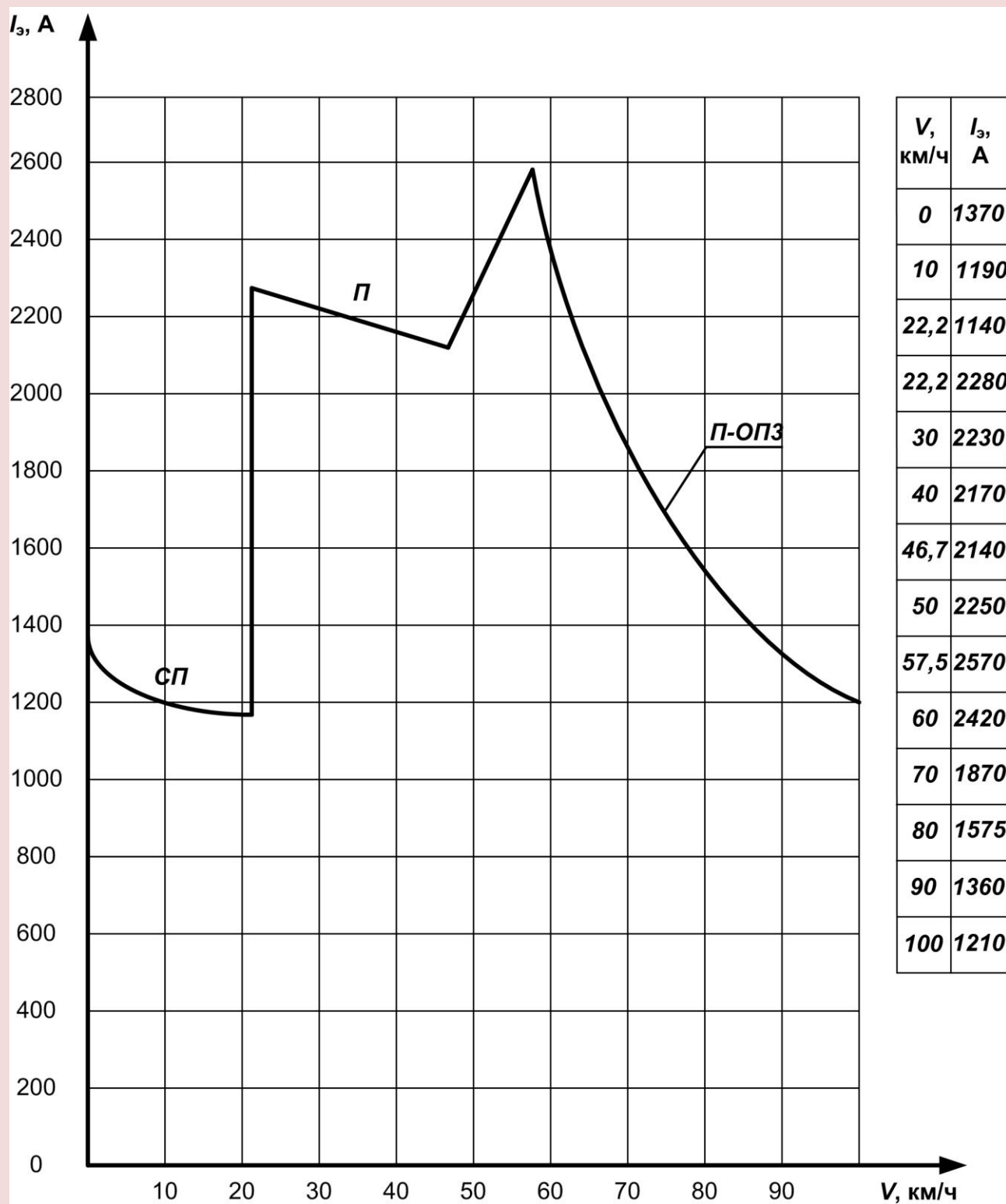


Рисунок Г.4 – Токовая характеристика электровоза ВЛ11 (2 секции)

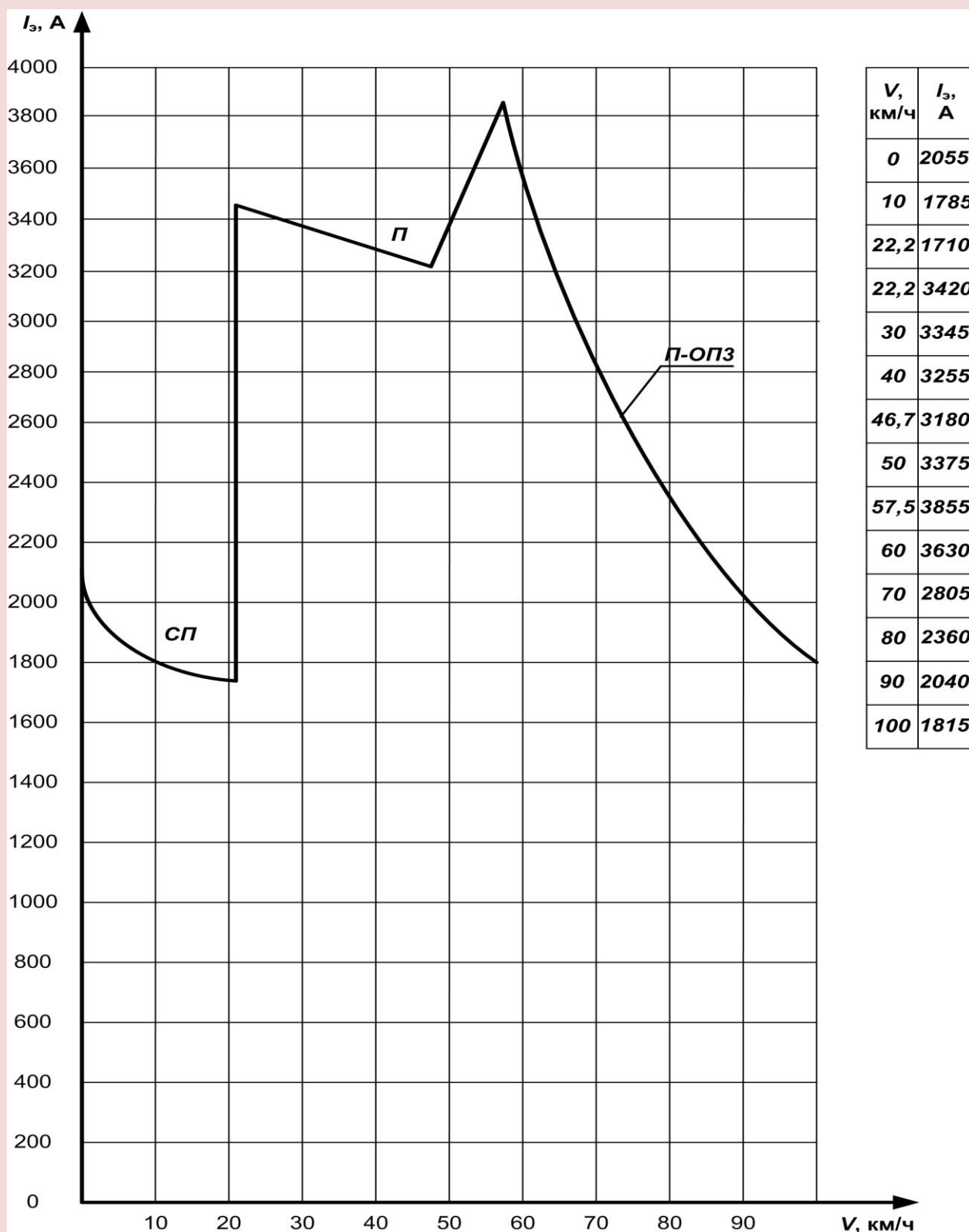


Рисунок Г.5 – Токвая характеристика электровоза ВЛ11 (3 секции)

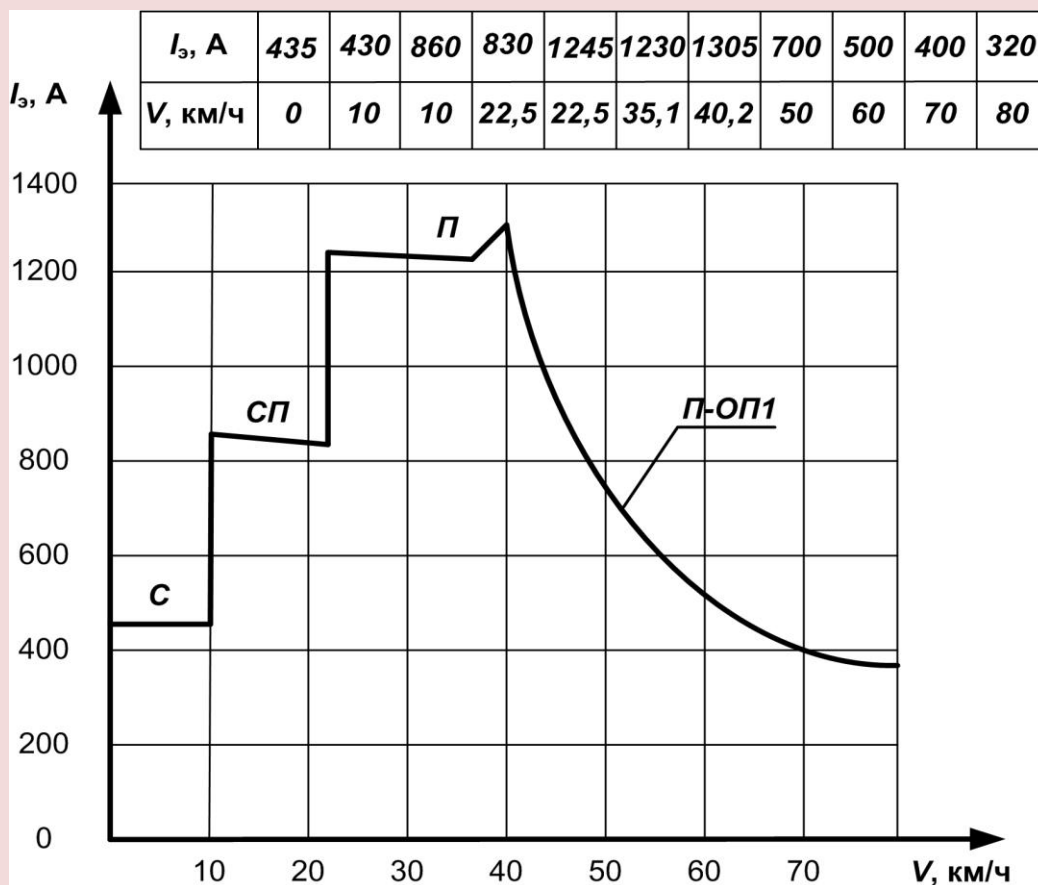


Рисунок Г.6 – Токвая характеристика электровоза ВЛ22^М

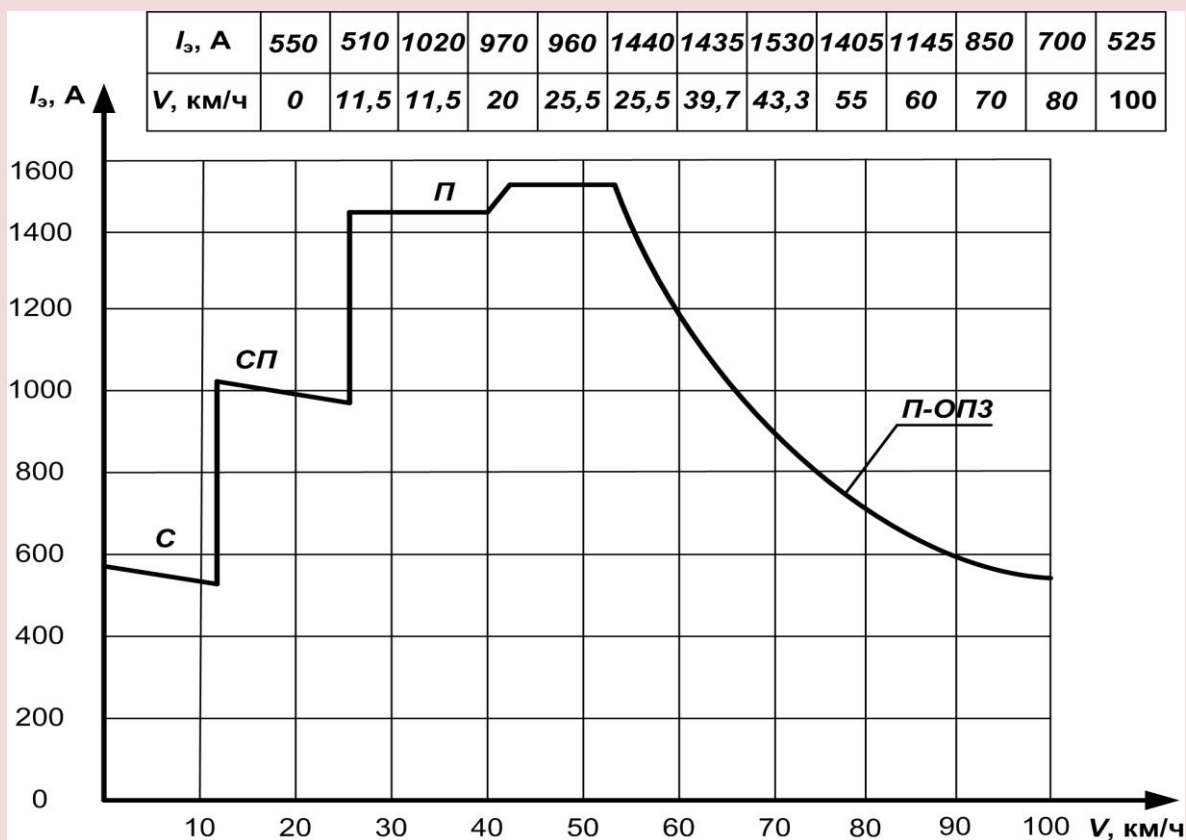


Рисунок Г.7 – Токвая характеристика электровоза ВЛ23

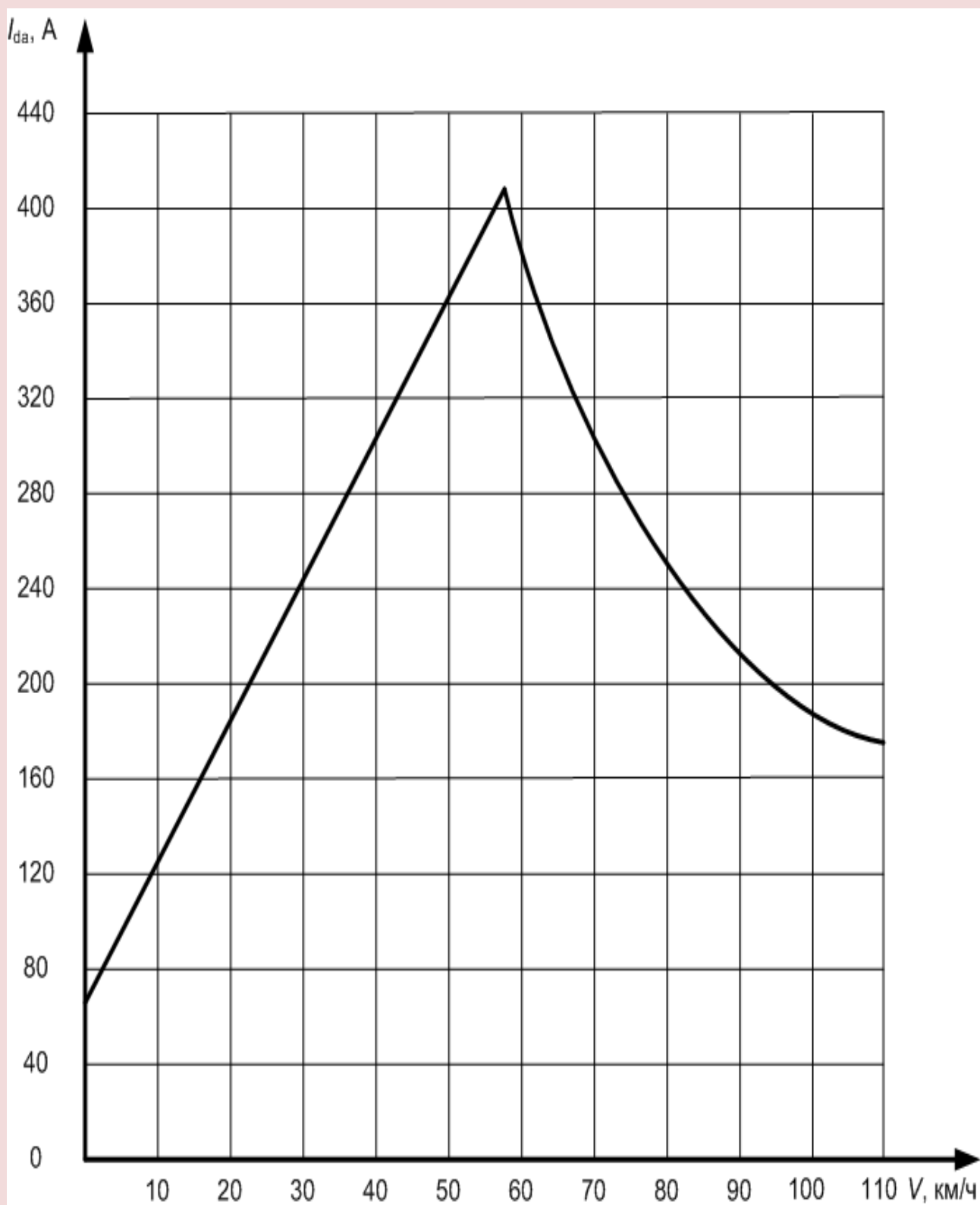


Рисунок Г.8 – Токовая характеристика электровоза ВЛ80^К

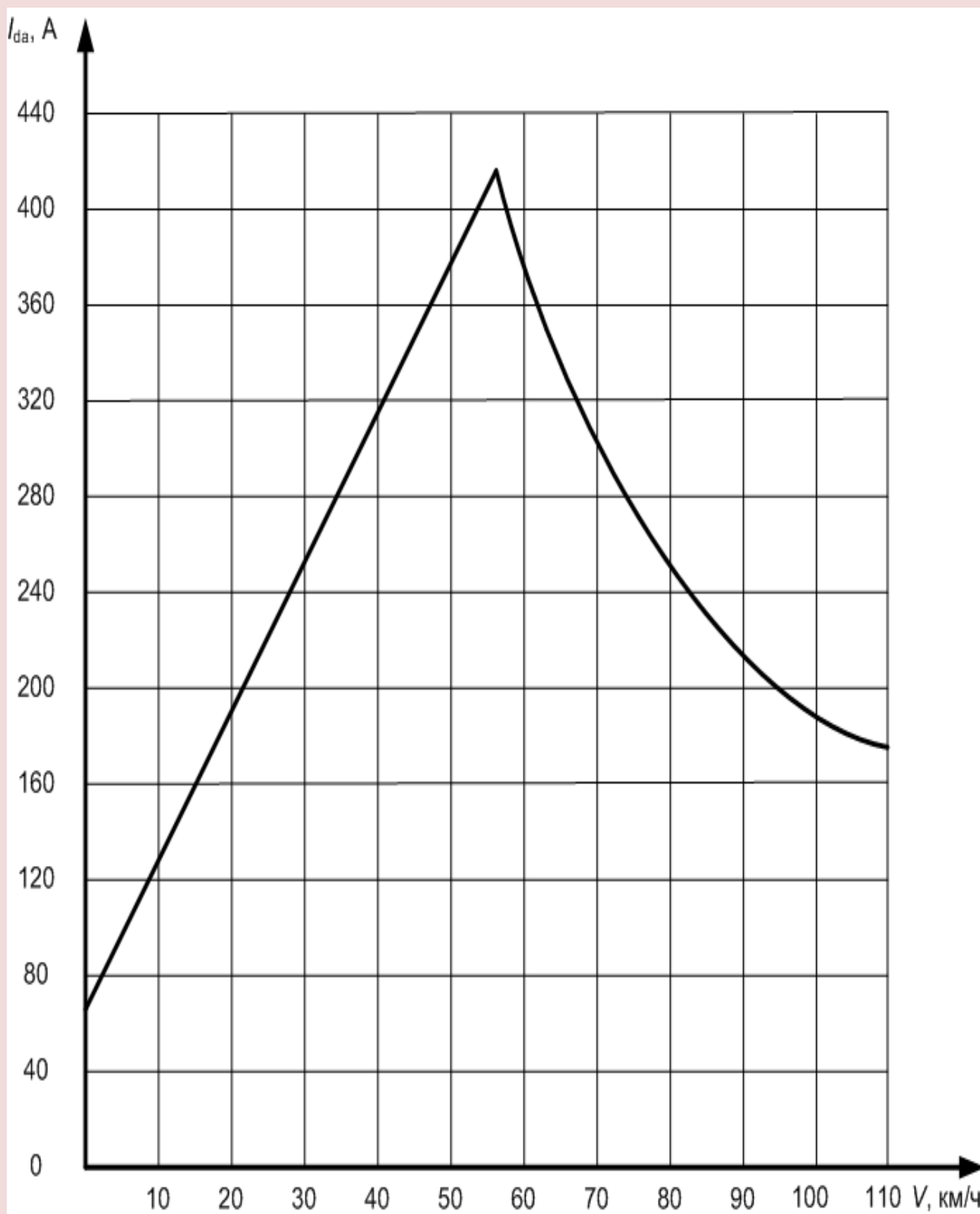


Рисунок Г.9 – Токовая характеристика электровоза ВЛ80^С, ВЛ80^Т

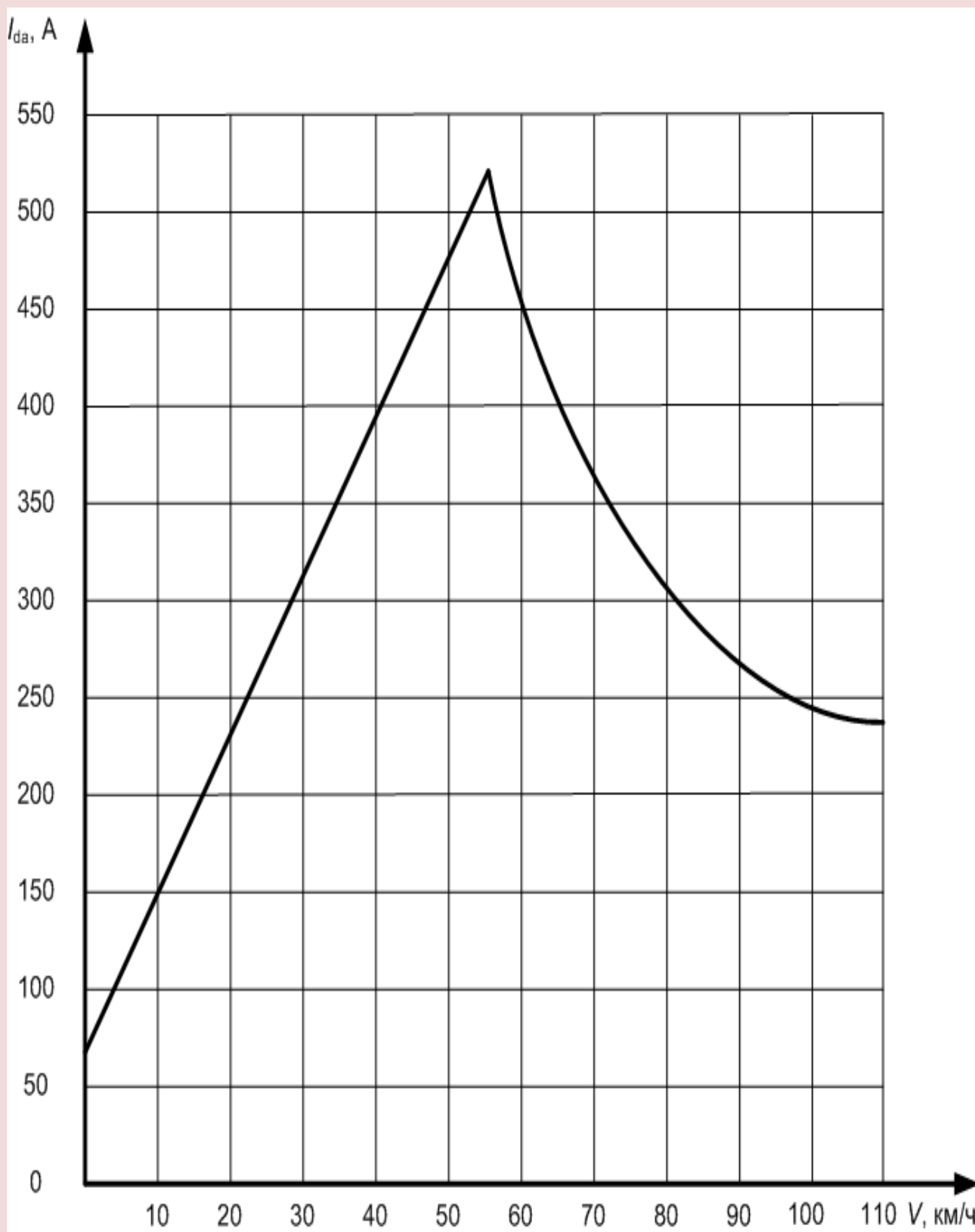
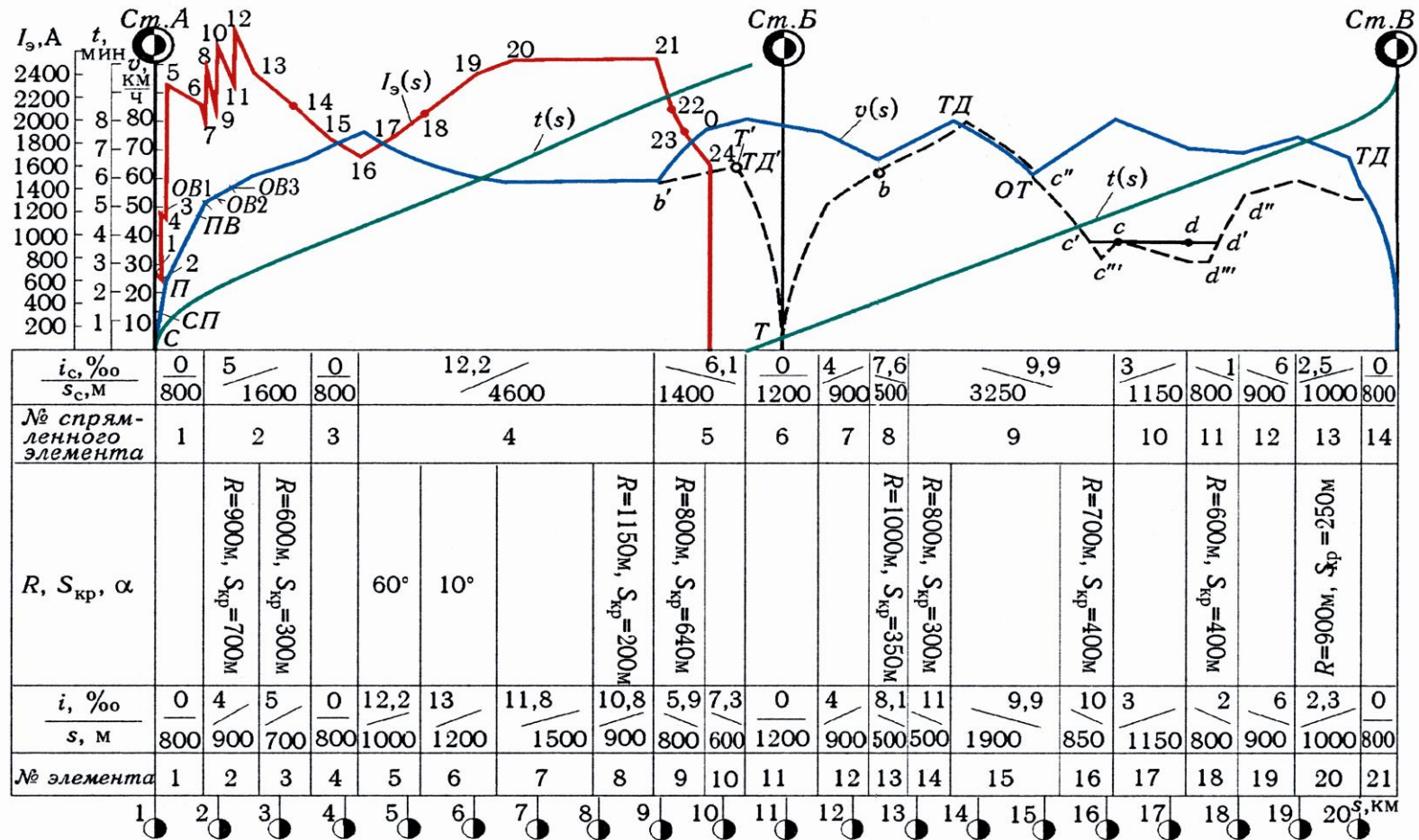


Рисунок Г.10 – Токовая характеристика электровоза ВЛ85

Приложение Д

(справочное)

Пример выполнения графика тяговых расчетов



Для заметок

Для заметок

Игорь Васильевич Катосонов

Учебное издание

ТЯГОВЫЕ РАСЧЕТЫ ДЛЯ ПОЕЗДНОЙ РАБОТЫ ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГЕ

Учебно-методическое пособие к курсовой работе
по дисциплине «Тяга поездов» для студентов специальности
190701 – «Организация перевозок и управление на транспорте
(железнодорожный транспорт)»

Редактор Н.П. Мирдак

Компьютерный оригинал-макет подготовлен автором

	Подписано в печать 08.04.2008 г.	Усл. печ. л. 4,2
Бумага Гознак	Формат 60x84 ¹ / ₁₆	Уч.-изд. л. 4,3
Тираж 200 экз.	Цена договорная	Заказ 14

Отпечатано на ризографе в издательском центре ЧИПС
454091, Челябинск, ул. Цвиллинга, 56