

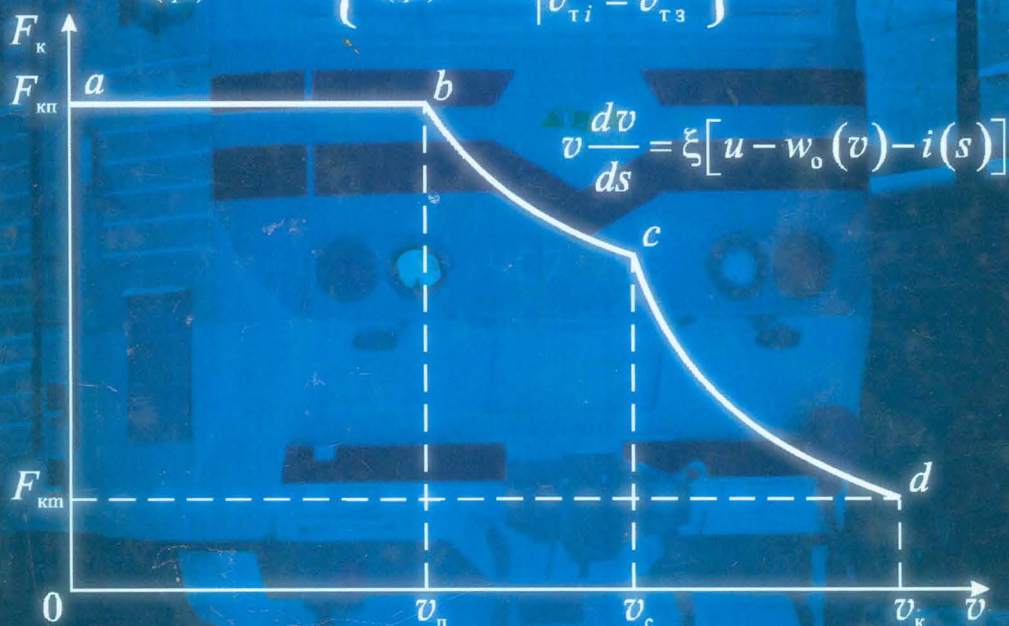
БЛД.423
В 92

Г. К. Гетьман, С. В. Арпуль
А. И. Кийко, Ю. В. Михайленко

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НОМИНАЛЬНОГО РЕЖИМА ПАССАЖИРСКИХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

$$N_H = 2,725 \cdot 10^{-3} k F_{\text{кп}} v_{\text{п}}$$

$$v_{\text{п(опт)}} = \max \left\{ v_{\text{п(опт)}} i(v_{\text{т}})_i \mid v_{\text{т}i} = v_{\text{т}3} \right\}$$



Г. К. ГЕТЬМАН, С. В. АРПУЛЬ, А. И. КИЙКО,
Ю. В. МИХАЙЛЕНКО

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НОМИНАЛЬНОГО РЕЖИМА ПАССАЖИРСКИХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

МОНОГРАФИЯ



Издательство Маковецкий Ю.В.
Днепропетровск, 2012

УДК 629.423(08)

ББК 39.232.105я9

В 92

ISBN 978-966-1507-91-2

Издательство Маковецкий Ю.В.

Днепропетровск, 2012

*Рекомендовано к печати ученым советом
Днепропетровского национального университета
железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна
(протокол № 10 от 28.05.2012)*

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. А. А. Босов

д-р техн. наук, проф. Э. Д. Тартаковский

д-р техн. наук, проф. Я. В. Щербак

**ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НОМИНАЛЬНОГО РЕЖИМА
ПАССАЖИРСКИХ ЭЛЕКТРОВЗОВ**

В 92 **ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НОМИНАЛЬНОГО РЕЖИМА**

ПАССАЖИРСКИХ ЭЛЕКТРОВЗОВ: Монография коллектива авторов/ Г.К. Гетьман,
С.В. Арпуль, А.И. Кийко, Ю.В. Михайленко – Дн-вск: Изд-во Маковецкий, 2012. – 188с. –
ISBN 978-966-1507-91-2

УДК 629.423(08)

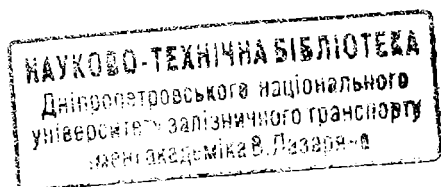
ББК 39.232.105я9

В монографии приведены основные результаты исследований по выбору рациональных параметров номинального режима пассажирских электровозов и мощностного ряда тяговых модулей для обеспечения заданного объема пассажирских перевозок.

Книга рассчитана на студентов, обучающихся по специальности «Электрический транспорт», а также инженерно-технических работников предприятий, осуществляющих разработку, создание и эксплуатацию тяговых средств электрического транспорта.

Ил. 39. Табл. 18.

Книгу написали: введение, главы 1 и 2, выводы – к. т. н. С. В. Арпуль; главу 4 д. т. н., проф. Г. К. Гетьман; главу 3 – к. т. н., доц. А. И. Кийко; главу 5 – к. т. н., доц. Ю. В. Михайленко



- © Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, 2012
- © Гетьман Г.К., Арпуль С.В., Кийко А.И., Михайленко Ю.В., 2012
- © Издательство Маковецкий Ю.В. Днепропетровск, 2012

ISBN 978-966-1507-91-2

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ	10
1.1. Актуальность выбранного направления исследования	10
1.2. Аналитический обзор работ по определению основных внешних параметров номинального режима тяговых средств	16
1.3. Задачи исследований.....	27
ГЛАВА 2 МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ПАРАМЕТРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ МОЩНОСТЬ НОМИНАЛЬНОГО РЕЖИМА ПАССАЖИРСКИХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ	29
2.1. Мощность номинального режима пассажирских электровозов	30
2.2. Разработка методики расчета области определения управляющих параметров уравнения движения	37
2.2.1. Моделирование предельных тяговых характеристик пассажирских электровозов с коллекторными тяговыми электродвигателями	39
2.2.2. Универсальная тяговая характеристика пассажирских электровозов	44
2.2.3. Моделирование предельных тяговых характеристик пассажирских электровозов с асинхронными тяговыми электродвигателями	56
2.3. Определение расхода электроэнергии на тягу поездов	59

ГЛАВА 3	ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ НОМИНАЛЬНОГО РЕЖИМА ПАССАЖИРСКИХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ	62
3.1.	Формулировка задачи оптимизации мощностного ряда пассажирских электровозов	62
3.2.	Методика определения оптимальной скорости движения номинального режима	67
3.3.	Формирование исходных данных для выбора параметров номинального режима пассажирских электровозов Укрзаліззниці	70
3.4.	Алгоритм определения скорости номинального режима пассажирских электровозов	74
3.5.	Разработка рекомендаций по выбору скорости и удельной мощности номинального режима пассажирских электровозов для железных дорог Украины	81
ГЛАВА 4	РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ГРАДАЦИИ МОЩНОСТИ ПАССАЖИРСКИХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ	88
4.1.	Постановка задачи.....	88
4.2.	Определение показателей оптимизации при обращении на участке поездов одной скоростной категории.....	90
4.3.	Частные случаи математических моделей для определения показателей оптимизации	96
4.4.	Определение показателей оптимизации при обращении на участке поездов нескольких скоростных категорий.....	99
4.4.1.	Общие замечания	100
4.4.2.	Определение показателей оптимизации для случая применения электровоза одного типа для вождения поездов различных скоростных категорий.....	102

4.4.2.1. Определение закона распределения потребной мощности номинального режима.....	102
4.4.2.2. Определение кратности тяги и избыточной мощности.....	107
4.5. Определение показателей оптимизации для зоны обращения.....	112
ГЛАВА 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ГРАДАЦИИ МОЩНОСТИ ПАССАЖИРСКИХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ДЛЯ УКРЗАЛИЗНЫЦИ	120
5.1. Определение распределения составности пассажирских поездов, обращающихся на ж.д. Украины	120
5.2. Определение мощностного ряда пассажирских электровозов для железных дорог Украины.....	126
5.3. Эффективность ввода в эксплуатацию модульной тяги...	138
ВЫВОДЫ.....	147
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	149
Приложение А Алгоритм выполнения тяговых расчетов для определения оптимальных параметров номинального режима пассажирских электровозов	158
Приложение Б Результаты оптимизации тяговых расчетов для пассажирских электровозов постоянного тока с коллекторными тяговыми двигателями.....	166
Приложение В Результаты оптимизации тяговых расчетов для пассажирских электровозов переменного тока с коллекторными тяговыми двигателями.....	169
Приложение Г Алгоритм решения задачи определения оптимальной мощности пассажирского	

	электровоза, как задачи векторной оптимизации	174
Приложение Д	Протоколы № ЦЗТ-5/10 и № ЦЗТ-5/16 рабочего совещания по рассмотрению технических параметров создания магистральных электровозов	180

Железнодорожный транспорт играет решающую роль в единой транспортной системе Украины, обеспечивая экономические связи между производителями и потребителями продукции, областями и экономическими регионами Украины и других стран.

Выгодное географическое положение страны усиливает значимость железнодорожного транспорта и обуславливает наличие одного из наибольших в Европе потенциалов транзитности железных дорог Украины, которые взаимодействуют с железными дорогами 7 соседних стран через 56 пунктов пересечения границы и с 13 основными морскими портами Черного и Азовского морей и реки Дунай.

На фоне роста объемов перевозок обострилась проблема обновления материально-технической базы железнодорожного транспорта. Наиболее актуальной есть проблема критического состояния активной части основных фондов, которые в требуемых объемах не обновлялись в течении последних 15 лет.

Важной составной частью проблемы обновления основных фондов железных дорог Украины является задача обновления парка пассажирских электровозов. Это объясняется:

- необходимостью освоения растущих объемов пассажирских перевозок;
- планируемым на перспективу повышением скорости движения, вводом в эксплуатацию ускоренных и скоростных пассажирских поездов;
- морально и физически устаревшим парком пассажирских электровозов «Укрзалізниці».

Для решения указанных выше задач требуется насыщение парка современными пассажирскими электровозами.

Проблема обновления пассажирского тягового подвижного состава железных дорог Украины в настоящее время приобрела первоочередное значение.

На 01.11.2008 г. в инвентарном парке пассажирского тягового подвижного состава железных дорог Украины находилось 533 магистральных пассажирских электровоза, в том числе:

- 279 электровозов постоянного тока (ЧС7 – 95 шт., ЧС2 – 184 шт.);

- 254 электровоза переменного тока (ЧС8 – 38 шт., ЧС4 – 121 шт.; ДС3 – 18 шт., ВЛ40^У – 46 шт., ВЛ60^{ПК} – 31 шт.).

Все электровозы постоянного тока ЧС2 (184 единицы) эксплуатируются за пределами нормативно установленного срока службы – 30 лет. К 2008 году у 46 из них закончится уже продленный на 15 лет срок службы, и они должны быть выведены из эксплуатации. В период до 2010 года должен быть исключен 61 электровоз, а к 2015 году 177 электровозов (96 % парка).

Все электровозы переменного тока ЧС4 (121 единица) также эксплуатируются за пределами нормативно установленного срока службы. Выведение из эксплуатации электровозов с продленным на 15 лет сроком службы начнется с 2012 года. В период до 2015 года должна быть исключена 91 единица (75 % парка).

В связи с охарактеризованным выше состоянием парка пассажирских электровозов задача его обновления выдвигается на уровень проблем государственного значения. Согласно Закону Украины «Про пріоритетні напрямки інноваційної діяльності в Україні» № 433 от 16.01.2003 г. строительство и реконструкция транспортных систем, включающие и обновление локомотивного парка, определены стратегическим направлением деятельности правительства.

Важнейшие эксплуатационные показатели пассажирского движения, такие как расход электроэнергии, потребный инвентарный парк, реализуемые ходовые скорости движения, допустимая составность пассажирских поездов и др., в значительной степени определяются основными внешними параметрами электровоза – мощностью и скоростью движения номинального режима. Выбор рациональных значений указанных параметров позволяет улучшить

технико-экономические показатели деятельности железнодорожного транспорта, повысить безопасность движения пассажиров, конкурентоспособность пассажирских железнодорожных перевозок и эффективность работы отрасли в целом. Поэтому определение рациональных значений этих параметров является одной из важнейших задач при составлении технических требований на перспективные пассажирские электровозы.

Проблеме выбора рациональных параметров номинального режима локомотивов на протяжении всего периода развития железных дорог уделялось большое внимание. В развитие данной области транспортной науки большой вклад внесли: А.М. Бабичков, Е.Ф. Егорченко, Н.И. Бещева, Н.В. Колодяжный, А.Л. Лисицин, А.А. Босов, Г.К. Гетьман и многие другие ученые. Однако достаточно полного решения этой задачи применительно к тяговому электроподвижному составу для пассажирских перевозок не найдено, поэтому данная работа посвящена разработке научных рекомендаций по выбору параметров номинального режима пассажирских электровозов.

В ее основу легли результаты исследований по определению рациональных параметров номинального режима перспективных пассажирских электровозов, выполненных на кафедре «Электроподвижной состав железных дорог» Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна в связи с необходимостью разработки «Укрзалізницею» технических требований на перспективные пассажирские электровозы.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Актуальность выбранного направления исследования

Основной задачей транспорта является полное и своевременное удовлетворение потребностей населения в услугах по перевозке, обеспечению безопасности передвижения грузов и пассажиров, а также своевременной доставки их к конечному пункту назначения.

Радикальные политические и экономические изменения, которые произошли в странах Центральной и Восточной Европы, значительно повлияли на транспортную систему. Вследствие либерализации рынка транспортных услуг резко возросла часть перевозок, осуществляемых автомобильным транспортом. С расширением сети современных автомагистралей, внедрением большегрузной автомобильной техники и снижением тарифов на автомобильный транспорт переходит все больше грузов, которые были традиционными для железных дорог.

Перспективы повышения конкурентоспособности железных дорог на рынке транспортных услуг обусловлены такими фундаментальными характеристиками железнодорожного транспорта, как высокая экономичность и низкая энергоёмкость. К тому же, железные дороги, сравнительно с другими видами транспорта, при одинаковой пропускной способности занимают меньшую площадь. Поэтому железнодорожный транспорт как экологически чистый, экономичный и безопасный, останется основным перевозчиком грузов и пассажиров на средние и дальние расстояния.

Сейчас, когда с переходом к рыночной экономике происходят качественные и количественные изменения в потребности на транспортные услуги, все большую актуальность приобретает задача освоения современных технологий. Повышение объемов грузооборота на перспективных направлениях, связанных с системой международных перевозок, в первую очередь зависит от решения этой задачи.

Перспективы международных перевозок в Украине будут определяться в ближайшие годы развитием международных транспортных коридоров. Для достижения высокой экономической эффективности транзитных международных перевозок нужно максимально использовать выгодность географического расположения Украины, притягивая дополнительные потоки грузов и пассажиров. Развитие международных транспортных коридоров требует проведения комплекса организационно-технических мероприятий, направленных на повышение скоростей движения поездов, улучшение качества услуг перевозок, обеспечения безопасности движения и сохранность грузов.

Таким образом, первоочередной технической проблемой развития международных перевозок железнодорожным транспортом есть техническое обеспечение перевозок с целью значительного сокращения времени перемещения грузов и пассажиров.

В общем транспортном процессе существенное место занимают пассажирские перевозки. Мобильность населения возрастает все более высокими темпами как следствие экономического и культурного прогресса, которому, в свою очередь, активно способствует развитие и совершенствование средств сообщения. Такая взаимозависимость определяет непрерывное увеличение размеров пассажирских перевозок (см. рис. 1.1).

Растущие объемы пассажирских перевозок наглядно видны на практике. Строятся новые и реконструируются старые вокзалы, внедряются современные комфортабельные вагоны, вокзалы оборудуются билетопечатающей и справочно-информационной техникой. Все это позволяет железным дорогам обеспечить быструю доставку пассажиров, предоставлять им максимум услуг в поездах и на вокзалах.

Для подготовки линий скоростного полигона к движению пассажирских поездов с максимально допустимой скоростью до 160 км/ч необходимо выполнить мероприятия по приведению пути, подвижного состава, устройств электроснабжения, СЦБ и связи, гражданских сооружений в соответствии с Инструкцией [1].

На основных направлениях поэтапное повышение допустимых скоростей движения пассажирских поездов происходит и будет происходить с учетом уположения плана линий и усиления пути.

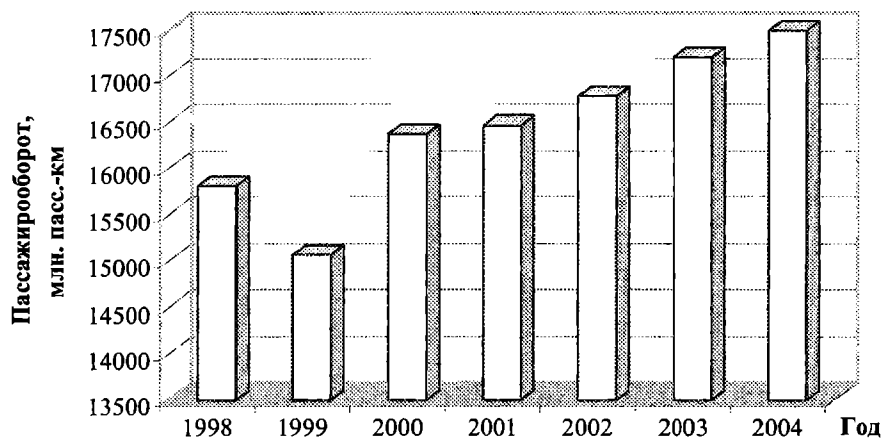


Рис. 1.1. Распределение пассажирооборота на Юго-Западной ж. д.

Согласно протоколу оперативного совещания о перспективах развития скоростного движения на ж.д. Украины к основным направлениям курсирования скоростных пассажирских поездов отнесены следующие маршруты:

- Киев – Харьков;
- Киев – Днепропетровск;
- Харьков – Днепропетровск – Симферополь (как летний вариант);
- Киев – Одесса;
- Киев – Львов.

Общие мероприятия по всем отраслям хозяйств, производимые по скоростным направлениям сети, предусматривают анализ состояния пути и его усиление, поставку новых вагонов, обеспечивающих следование с высокими скоростями, обеспечение их ремонта и эксплуатации, то же относится к локомотивному парку.

Успешное решение этой проблемы не возможно без применения подвижного состава, в частности, локомотивов новых конструкций, так как подвижной состав железных дорог Украины в настоящее время не готов к осуществлению международных перевозок.

О состоянии подвижного состава железных дорог Украины можно судить на основании данных табл. 1.1.

Таблица 1.1

Изменения подвижного состава железных дорог Украины

Наименование	Год	Постоянный ток			Переменный ток			Двухсистемные грузовые электровагоны
		Грузовые электровагоны	Пассажирские электровагоны	Вагоны электропоездов	Грузовые электровагоны	Пассажирские электровагоны	Вагоны электропоездов	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Инвентарный парк	2003	715	280	1743	507	202	1251	50
Планируемые исключения инвентаря		20	2	26	1	3	50	1
Подлежит КВР		52	14	130	39	29	58	10
Поставка новых локомотивов		7		4		1	84	
Парк с учетом исключения, продления, неисправных		560	270	1690	324	172	1216	30
Потребный эксплуатируемый парк		500	265	1655	324	298	1234	28
Баланс: избыток – „+” дефицит – „-”		60	5	35	0	-126	-18	2

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Инвентарный парк	2004	702	278	1793	506	204	1289	49
Планируемые исключения инвентаря		15	1	28	1	2	55	3
Подлежит КВР		43	12	124	20	24	40	10
Поставка новых локомотивов		10		24		5	72	
Парк с учетом исключения, продления, неисправных		559	270	1723	332	181	1254	30
Потребный эксплуатируемый парк		515	270	1688	335	304	1258	28
Баланс: избыток – „+” дефицит – „-”		44	0	35	-3	-123	-4	2
Инвентарный парк	2005	697	277	1845	505	212	1314	46
Планируемые исключения инвентаря		25	1	40	1	1	60	2
Подлежит КВР		29	14	10	18	24	10	10
Поставка новых локомотивов		11		24		10	72	1
Парк с учетом исключения, продления, неисправных		550	270	1747	337	193	1287	28
Потребный эксплуатируемый парк		530	275	1722	340	310	1284	28
Баланс: избыток – „+” дефицит – „-”		20	-5	25	-3	-117	3	0

Как следует из приведенных данных, состояние подвижного состава не соответствует потребностям эксплуатационной работы. Это, в первую очередь, относится к электрическому подвижному составу, поскольку большая часть пассажирских перевозок приходится на электрифицированные участки железных дорог.

Старение парка тягового электроподвижного состава и отсутствие финансирования закупки нового в течении последних 15 лет в сочетании с ростом доли электрической тяги в общем объеме перевозок (см. рис. 1.2), привело к тому, что в настоящее время эксплуатационный парк «Укрзалізниці» составляют, большей частью,

морально и физически устаревшие типы электроподвижного состава.

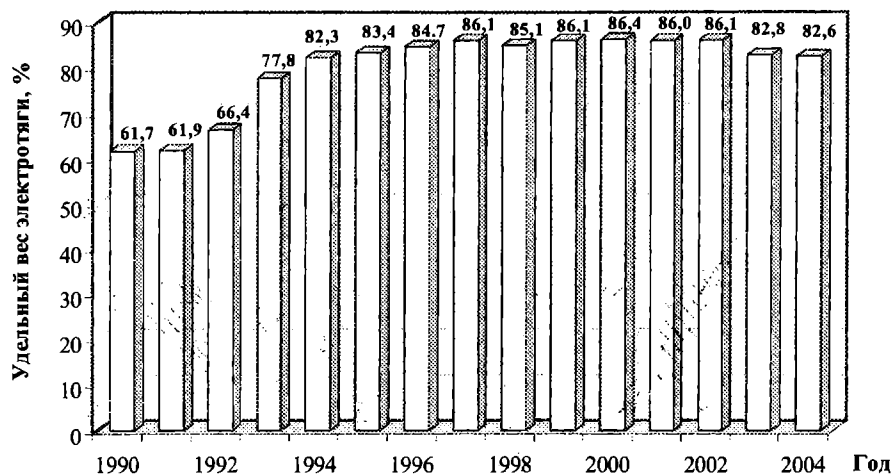


Рис. 1.2. Динамика удельного веса электрической тяги на железных дорогах Украины

Сказанное, как следует из данных табл. 1.1 и рис. 1.3, в полной мере относится к электроподвижному составу для пассажирских перевозок. Уже в 2003 г. дефицит пассажирских электровозов переменного тока составлял 126 шт., вагонов электропоездов переменного тока 18 шт.

Анализ приведенных выше данных показывает, что в ближайшее время необходимо восполнить недостаток в пассажирских электровозах. Решение этой задачи потребует больших капитальных вложений, поэтому с целью исключения приобретения малоэффективного электроподвижного состава для пассажирских перевозок и получения наибольшего экономического эффекта очень важно грамотно определить основные параметры вводимых в эксплуатацию электровозов.

К основным параметрам пассажирских электровозов следует отнести мощность номинального режима и силу тяги, которые опре-

деляют главные показатели пассажирских перевозок – составность и скорость движения поездов.

Изложенное выше ставит задачу выбора рациональных параметров номинального режима пассажирских электровозов в ряд актуальных задач в области железнодорожного транспорта.



Рис. 1.3. Инвентарный парк пассажирских электровозов «Укрзалізниці»

1.2. Аналитический обзор работ по определению основных внешних параметров номинального режима тяговых средств

Проблема определения основных внешних параметров тяговых средств, к которым в первую очередь относятся мощность (N) и скорость (v) номинального режима, рассматривается в трудах мно-

гих ученых в рамках решения более общей задачи определения параметров перевозочного процесса – скорости движения поездов и их массы. Сказанное в равной степени относится как к грузовому так и к пассажирскому движению.

К таким исследованиям следует отнести в первую очередь, опубликованную более 100 лет назад работу Б.Д. Воскресенского. Позднее аналогичные работы были выполнены проф. А.Л. Васютынским и инж. В.Н. Щегловитовым.

Проф. А.М. Бабичков и проф. Е.Ф. Егорченко при определении массы и скорости грузовых поездов исследовали вопросы использования мощности локомотивов. Значительный интерес представляют исследования проф. А.Е. Гибшмана по вопросу эксплуатационно-экономического обоснования выбора параметров локомотивов, а также исследования проф. Е.В. Михальцева, изложенные в его фундаментальной работе по определению себестоимости железнодорожных перевозок.

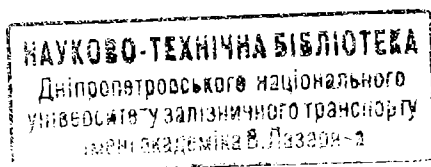
Вопросы определения веса и скорости движения грузовых поездов, а также определения параметров номинального режима грузовых электровозов были исследованы д.т.н. Б.Э. Пейсахзоном [3], Э.Д. Фельдманом [4], проф. Б.М. Максимовичем [5], проф. К.К. Тихоновым [6], проф. Г.И. Черномордиком [7, 8], проф. А.А. Босовым [53, 55 – 57], проф. Г.К. Гетьманом [26, 28, 56 – 57, 40, 29, 30, 47 – 67] и другими.

Следует отметить, что названные выше исследования посвящены главным образом грузовым электровозам.

Вместе с тем для пассажирских перевозок эта важная проблема исследована недостаточно.

Хотя в подходах к решению задачи определения основных параметров номинального режима грузовых и пассажирских электровозов много общего, следует указать и на имеющие место отличия. Основное из них состоит в следующем.

Ряд важнейших показателей эксплуатационной работы грузового парка определяется не только мощностью номинального режима, но и параметрами, так называемого, расчетного режима – расчетной силой тяги и расчетной скоростью движения, поскольку эти параметры определяют важнейшие показатели перевозочного про-



цесса – критическую массу поезда и скорость движения по расчетному подъему.

Для пассажирских электровозов показатели расчетного режима не устанавливаются, поскольку составность пассажирских поездов определяется из условий освоения заданного объема перевозок при известном времени хода и минимальных издержках. Вместе с тем важными эксплуатационными параметрами пассажирского электровоза являются пусковая сила тяги и так называемая пусковая скорость. Если сила тяги расчетного режима грузового электровоза определяет критическую массу поезда для заданного расчетного подъема, то пусковая сила тяги пассажирского электровоза и его пусковая скорость определяют ускорение поезда в период разгона и достижимый уровень технической скорости движения.

Серьезные работы по проблеме определения параметров пассажирских локомотивов и повышения скорости движения пассажирских поездов были выполнены Н. И. Бещевой, А. М. Бабичковым, Н. В. Колодяжным, А. Л. Лисициным, И. Г. Колесиным [10 – 14].

Вопросы выбора оптимального веса и скорости движения пассажирских поездов на основе технико-экономических расчетов рассмотрены в работе А. М. Баранова [15]. В работе рассмотрены зависимости веса и скорости от потребности в подвижном составе, в поездных бригадах, от энергетических затрат, а также от капитальных вложений на реконструкцию станционных путей и пассажирских платформ и предлагается определять оптимальный вес и скорость пассажирских поездов исходя из минимума приведенных годовых расходов.

В зарубежной практике раньше не уделялось внимание теоретическому обоснованию выбора оптимальной массы и среднеходовой скорости движения пассажирских поездов. Это подтверждается применением в каждой стране многочисленных видов локомотивов различной мощности, а также обращением поездов различной массы с различным числом мест для пассажиров и большими колебаниями среднеходовой скорости движения. Одной из работ, посвященных этой проблеме за рубежом, является исследование Д. С. Лавьера [9], в котором предлагается решать эту задачу итеративными методами, например, методом Ньютона-Рафсона.

Особо следует остановиться на работах проф. Ф. П. Кочнева [16 – 22]. В них установлены взаимосвязи веса и скорости дальних, местных и пригородных пассажирских поездов и ряда параметров, определяющих условия пассажирских перевозок, в том числе и условия организации грузовых перевозок. По нашему мнению, это наиболее завершенное решение задачи оптимального сочетания массы пассажирского состава, и среднеходовой скорости движения и мощности локомотивов. Рассмотрим его более детально.

Математическая модель, предложенная Ф. П. Кочневым для установления рационального уровня массы, скорости движения пассажирских поездов и мощности локомотива, состоит из отдельных элементов, определяющих народнохозяйственные затраты и характеризующих этот процесс в целом [22].

Потребность в локомотивном парке зависит в первую очередь от массы и скорости поездов. Количественная величина этого показателя определяется временем оборота локомотива, которое обратно пропорционально среднеходовой скорости v_x и массе поезда брутто Q . Годовые народнохозяйственные затраты на содержание локомотивного парка определяются выражением

$$E_n = \left(\frac{2L_r}{v_x} + T_n \right) \frac{Aq_{6p}L}{24L_r a_0 Q} \gamma_n [\rho_n k_n N_k + 8760(e_{p.n} + rN_k)], \quad (1.1)$$

где L_r – длина обращения локомотивов, км;

L – протяженность рассматриваемого направления, км;

L/L_r – число пунктов обращения локомотивов на рассматриваемом направлении;

T_d – время простоя локомотива в пунктах оборота и при остановках на отдельных пунктах, ч;

A – суточный пассажиропоток;

q_{6p} – масса брутто вагона;

a_0 – средняя вместимость вагона;

$\frac{Aq_{6p}}{a_0 Q} = N_n$ – суточные размеры движения пассажирских поез-

дов;

$\gamma_{\text{л}} > 1$ – коэффициент, учитывающий долю нерабочего парка локомотивов;

$\rho_{\text{л}} = \left(\frac{1}{t_{\text{ок}}^{\text{л}}} + \frac{1}{t_{\text{сл}}^{\text{л}}} \right)$ – коэффициент, учитывающий годовые отчисления

на реновацию локомотивов, при сроке окупаемости $t_{\text{ок}}^{\text{л}} = 10$ лет и сроке службы $t_{\text{сл}}^{\text{л}} = 30$ лет; $\rho_{\text{л}} = 0,1 + 0,03 = 0,13$;

$N_{\text{к}}$ – касательная мощность заданного или перспективного локомотива, кВт;

$k_{\text{л}}$ – стоимость единицы мощности локомотива, зависящая от рода тяги и серии (типа) локомотива;

8760 – количество часов в году;

r – расходная ставка (денежный эквивалент) на 1 кВт касательной мощности локомотива, зависящая от расхода топлива или электроэнергии на собственные нужды и пропорциональная этим затратам на ремонт двигателей и вспомогательных установок локомотива;

$e_{\text{р.л}}$ – расходная ставка на ремонт локомотива, связанный с износом во времени, приходящаяся на один лок. ч.

Согласно (1.1), годовые приведенные народнохозяйственные затраты зависят как от постоянных параметров A , $q_{\text{бр}}$, $L_{\text{т}}$, L , $T_{\text{д}}$, a_0 , $\rho_{\text{л}}$, $e_{\text{р.л}}$, r , $k_{\text{л}}$ и $N_{\text{к}}$, так и от переменных искомым $v_{\text{х}}$ и Q , но справедливы они будут только для текущих условий эксплуатации, когда известен тип локомотива.

При определении оптимальной среднеходовой скорости пассажирских поездов на перспективу необходимо найти оптимальную мощность локомотива в зависимости от среднеходовой скорости и массы поезда.

В этом случае в [22] предлагается определять мощность перспективного локомотива в функции среднеходовой скорости при той или другой массе поезда и при полном использовании сцепной массы локомотива по выражению, кВт

$$N_{\text{к}} = \frac{1000 \psi_{\text{сцр}} \eta_{\text{сц}} (w_{\text{ор}} + i_{\text{р}})}{1000 \psi_{\text{сцр}} \eta_{\text{сц}} - (w_{\text{ор}} + i_{\text{р}})} \cdot \frac{Q v_{\text{р}}}{367}, \quad (1.2)$$

где $\psi_{\text{сцр}}$ – коэффициент сцепления, определяемый при расчетной скорости;

$\eta_{\text{сц}}$ – коэффициент использования сцепной массы локомотива;

$w_{\text{ор}}$ – основное удельное сопротивление движению локомотива при v_p , кгс/тс;

i_p – расчетный подъем, ‰;

Q – масса пассажирского состава, т.

Отметим, что в первоисточнике под v_p для пассажирского поезда понимают установившуюся скорость движения на расчетном подъеме.

В выражении (1.2) отношение $\frac{1000\psi_{\text{сцр}}\eta_{\text{сц}}(w_{\text{ор}} + i_p)Q}{1000\psi_{\text{сцр}}\eta_{\text{сц}} - (w_{\text{ор}} + i_p)}$ представ-

ляет собой значение силы тяги локомотива на расчетном подъеме при полном использовании силы сцепления локомотива.

Выражение (1.2) дает возможность определить мощность номинального режима локомотива по известным значениям Q и v_p .

Предполагается, что этот коэффициент устанавливается на основании тяговых расчетов и будет зависеть от типа локомотива и типа профиля пути.

Если определить среднеходовую скорость и установить массу состава, при которых годовые народнохозяйственные затраты, определяемые по формуле (1.1), принимают минимальное значение, то подстановкой их в (1.2) с учетом (1.4) определяется оптимальная мощность локомотива на данном направлении.

В соответствии с вышесказанным подходом определение мощности локомотива можно представить в виде процедуры, предусматривающей решение следующих задач:

- определение оптимальных значений среднеходовой скорости $v_{x(\text{opt})}$ и массы из условия минимизации приведенных народнохозяйственных затрат;

- определение установившейся скорости движения локомотива на расчетном подъеме, при которой может быть обеспечена реализация $v_{x(\text{opt})}$ на заданной линии;

- определение оптимального значения мощности пассажирского электровоза на заданном направлении.

Отметим, что в приведенной процедуре решения задачи ключевым звеном является определение установившейся скорости движения поезда на расчетном подъеме, которая фигурирует в выражении (1.2).

В литературных источниках существует ряд рекомендаций относительно решения этого вопроса. Так в ряде работ, например, в [6], для грузового движения, расчетную скорость предлагается определять по следующей зависимости

$$v_p = \frac{rv_x}{s - v_x}, \quad (1.3)$$

где r, s – постоянные коэффициенты, зависящие от рода тяги и типа профиля пути.

Однако следует отметить, что понятие «расчетная скорость» грузового электровоза вовсе не соответствует расчетной скорости, введенной в [22] для случая пассажирского движения.

В грузовом движении расчетная скорость – это важнейший параметр так называемого расчетного режима самого локомотива. При заданной мощности она однозначно определяет расчетную силу тяги, а при заданном расчетном подъеме – так называемую критическую массу состава. По этой причине Правила тяговых расчетов регламентируют для каждого грузового локомотива значения расчетной скорости и расчетной силы тяги. В связи с этим на основании тяговых расчетов или на основании данных опытных поездок для конкретного локомотива или ряда локомотивов может быть установлена с определенной степенью достоверности зависимость $v_x(v_p)$, а зависимость $v_p(v_x)$ может быть получена как обратная функция от предыдущей.

Вместе с тем, справедливости ради, следует отметить, что практически такой путь неприемлем, потому, что при фиксированном значении расчетной скорости движения ходовая скорость может иметь значительную вариацию в зависимости от характеристик продольного профиля участка.

Для пассажирских электровозов Правила тяговых расчетов не устанавливают понятия «расчетного режима» или «расчетной ско-

рости». При производстве тяговых расчетов для пассажирских или пригородных поездов не используют такой термин как «расчетный подъем», а употребляют определения «наибольший» или «труднейший» подъем.

Сказанное объясняется тем, что критическая масса грузовых поездов определяется из условия движения поезда по расчетному подъему с установившейся скоростью, равной расчетной скорости электровоза. Составность пассажирских поездов определяется в зависимости от пассажиропотока, а параметры электровоза принимаются из условия реализации заданного времени хода поездом заданной составности на конкретном участке тяги. При этом обязательно выполнение требования о возможности реализации на труднейшем подъеме скорости движения, превышающей так называемую пусковую скорость, т.е. скорость, при которой завершается фаза разгона поезда. Именно эта скорость движения в [22] называется расчетной.

Однако из изложенного очевидно, что фигурирующая в формуле (1.2) величина v_p не есть параметром локомотива: при заданных тяговых характеристиках рассматриваемая скорость движения есть функцией составности и величины труднейшего подъема на участке.

В рассматриваемой работе, а также в [20-22] для пассажирского движения при определении скорости движения на расчетном подъеме предлагается использовать отношение

$$k = \frac{v_p}{v_x}. \quad (1.4)$$

Приведенное отношение предполагается определять на основании результатов тяговых расчетов.

Однако, тяговые расчеты могут быть проведены только в случае, когда известны тяговые характеристики локомотива, кроме того дадут для каждого участка свои значения отношения (1.4).

Поскольку при решении задач тягового обеспечения на перспективу, когда определение основных параметров локомотива составляет цель задачи, тяговые характеристики локомотива неизвестны,

ПРОТОКОЛЫ № ЦЗТ-5/10 И № ЦЗТ-5/16 РАБОЧЕГО СОВЕЩАНИЯ ПО РАССМОТРЕНИЮ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СОЗДАНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

Протокол №ЦЗТ-5/10

**робочої наради з розгляду технічних параметрів створення
магістрального двосистемного пасажирського електровоза**

28.02.2007 р.

м. Київ

Порядок денний: розгляд технічних параметрів створення магістрального двосистемного пасажирського електровоза.

Головував на нараді: Сергієнко М.І. – заступник генерального директора Укрзалізниці.

Присутні:

Пилипенко С.В. – перший заступник начальника Головного управління локомотивного господарства Укрзалізниці;

Чистяк В.Г. – заступник головного інженера Головного управління локомотивного господарства Укрзалізниці;

Кожемяка В.О. – начальник локомотивного відділу Головного управління перевезень Укрзалізниці;

Косоцький С.О. – начальник відділу Головного пасажирського управління Укрзалізниці;

Шоботенко М.М. – заступник начальника управління метрології та інформації Головного управління розвитку і технічної політики Укрзалізниці;

Панасенко М.В. – заступник директора Державного науково-дослідного центру Укрзалізниці;

Матяш В.О. – директор Полтавського проектно-конструкторсько-технологічного бюро по ремонту локомотивів;

Рипюк П.П. – заступник начальника Придніпровської залізниці;

Золотарьов С.В. – заступник начальника Південно-Західної залізниці;

Гетьман Г.К. – завідувач кафедрою "Електрорухомий склад" Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту;

Варченко В.К. – генеральний конструктор ДП "Науково-виробничого комплексу "Електровозобудування";

Догадін В.О. – виконуючий обов'язки головного конструктора ВАТ "Холдингової компанії "Луганськтепловоз".

З доповіддю виступили: Панасенко М.В., Варченко В.К.

Виступили: Гетьман Г.К., Догадін В.О., Рипюк П.П., Золотарьов С.В., Матяш В.О., Кожемяка В.О., Косовець С.О., Шоботенко М.М., Чистяк В.Г. Сергієнко М.І.

Нарада відмітила:

що технічні параметри створення магістрального двосистемного пасажирського електровоза з асинхронним приводом, які викладені в технічних вимогах підготовлених Головним управлінням локомотивного господарства спільно з Головним управлінням безпеки руху та екології, Головним управлінням автоматики, телемеханіки і зв'язку, Головним пасажирським управлінням, Головним управлінням електрифікації та електропостачання, Головним управлінням охорони і організації праці, Головним управлінням колійного господарства, Управлінням воєнізованої охорони та ДНДЦ Укрзалізниці, в цілому відповідають вимогам на даний електровоз.

Магістральний двосистемний пасажирський електровоз з асинхронним приводом повинен бути виконаний в односекційному чотиривісному варіанті і розрахований на максимальну експлуатаційну швидкість 160 км/год з потужністю 5600-6400 кВт та силою тяги при максимальній експлуатаційній швидкості 140 кН. Електрична схема повинна забезпечувати роботу електровоза по системі двох одиниць. Даний електровоз повинен бути обладнаний системою енергозабезпечення поїзду з потужністю 1400 кВт та рекуперативним гальмом. Крім цього Гетьманом Г.К., Панасенко М.В., Рипюком П.П. запропоновано розглянути як варіант обладнання електровоза реостатним гальмом, мотивуючи це тим, що на даний час не всі тягові підстанції можуть приймати рекуперативну енергію.

Нарада вирішила:

- 1 Погодитись з технічними вимогами на магістральний двосистемний пасажирський електровоз з асинхронним приводом підготовленими Головним управлінням локомотивного господарства спільно з вищеназваними Головними управліннями та Управліннями Укрзалізниці;
- 2 Кафедрі "Електрорухомий склад" ДНУЗТ в термін до 19.03.2007 розробити техніко-економічне обґрунтування доцільності застосування на даному електровозі реостатного гальма з визначенням вартості додаткового обладнання і його ваги, а також експлуатаційних витрат;

- 3 ДНДЦ УЗ в термін до 19.03.2007 обґрунтувати запропоновану потужність магістрального двосистемного пасажирського електровоза з асинхронним приводом 5600 кВт.

Заступник генерального директора

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping loops and strokes, positioned to the right of the text 'Заступник генерального директора'.

М.І. Сергієнко

**робочої наради з розгляду технічних параметрів створення
магістрального пасажирського електровоза постійного струму**

13.04.2007 р.

м. Київ

Порядок денний: розгляд технічних параметрів створення магістрального пасажирського електровоза постійного струму.

Головував на нараді: Сергієнко М.І. – заступник генерального директора Укрзалізниці.

Присутні:

Зайцев В.О. – начальник Головного управління локомотивного господарства Укрзалізниці;

Чистяк В.Г. – заступник головного інженера – начальник відділу нової техніки Головного управління локомотивного господарства Укрзалізниці;

Панасенко М.В. – заступник директора Державного науково-дослідного центру Укрзалізниці;

Гетьман Г.К. – завідувач кафедри "Електрорухомий склад" Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту;

Варченко В.К. – генеральний конструктор ДП "Науково-виробничого комплексу "Електрозовобудування".

З доповіддю виступили: Панасенко М.В., Варченко В.К.

Виступили: Гетьман Г.К., Чистяк В.Г., Зайцев В.О., Сергієнко М.І.

Нарада відмітила:

що враховуючи концепцію Укрзалізниці щодо переходу на денний рух пасажирських поїздів, які будуть складатись в середньому з 10 пасажирських вагонів, магістральний пасажирський електровоз постійного струму повинен бути виконаний в односекційному чотиривісному варіанті і бути розрахований на максимальну експлуатаційну швидкість 160 км/год з потужністю 6400 кВт та мати асинхронний привод третього класу. Даний електровоз повинен бути обладнаний системою енергозабезпечення поїзду з потужністю 1400 кВт та рекуперативним гальмом. При включенні в склад поїзду більше 10 вагонів електровоз повинен мати можливість роботи по системі двох одиниць.

Нарада вирішила:

- 1 Погодитись з необхідністю створення магістрального пасажирського електровоза постійного струму в односекційному чотиривісному варіанті з асинхронним приводом, потужністю 6400 кВт і максимальною експлуатаційною швидкістю 160 км/год;
- 2 Головному управлінню локомотивного господарства в термін до 30.05.2007 підготувати технічні вимоги на магістральний пасажирський електровоз постійного струму з асинхронним приводом.

Заступник генерального директора



М.І. Сергієнко

Г.К. Гетьман, С.В. Арпуль, А.И. Кийко, Ю.В. Михайленко

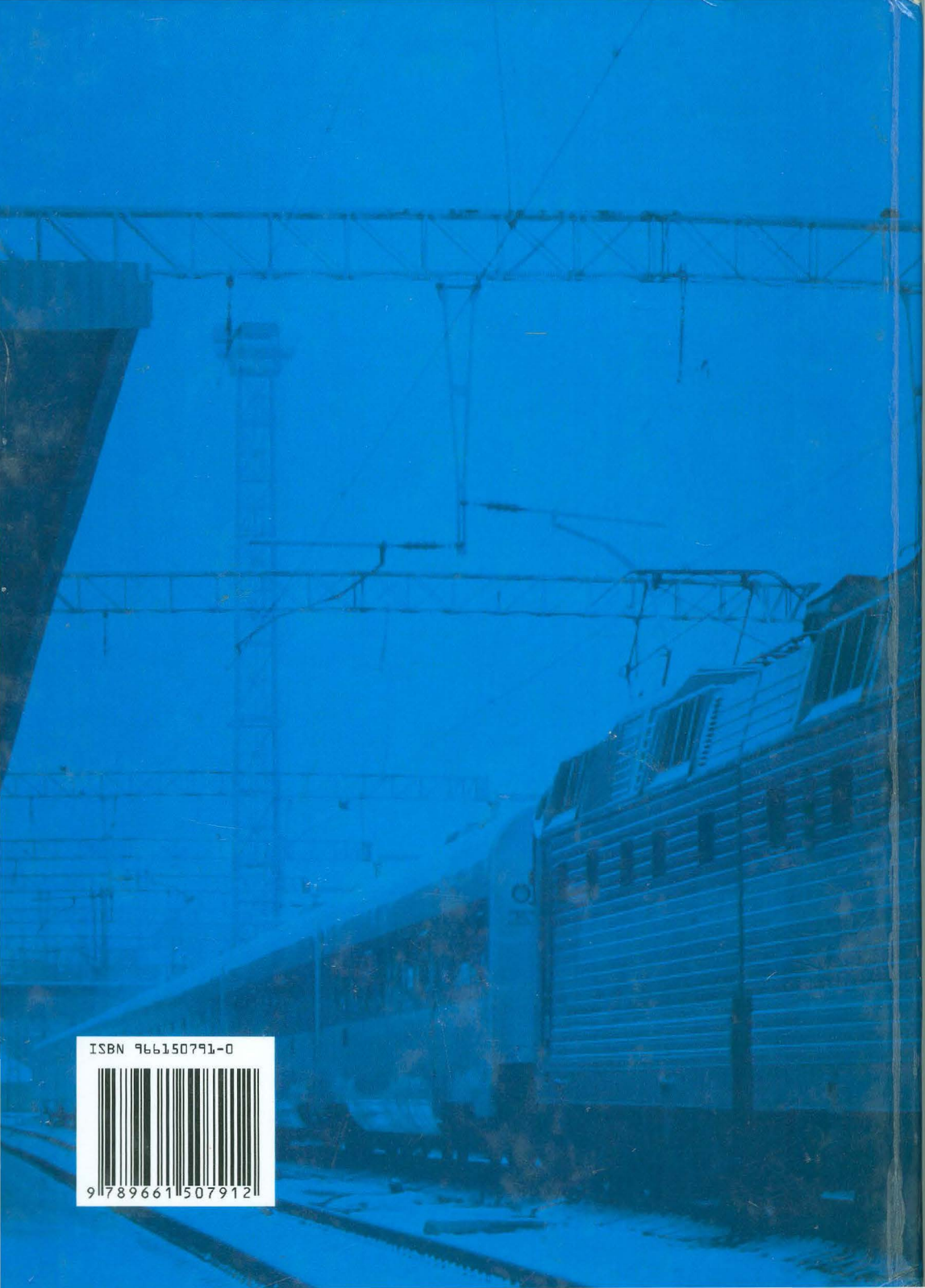
**ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НОМИНАЛЬНОГО РЕЖИМА
ПАССАЖИРСКИХ ЭЛЕКТРОВЗОВ**

МОНОГРАФИЯ
(на русском языке)

Редактор *А. А. Мищенко*
Ответственный за выпуск *А. А. Мищенко*
Компьютерная верстка *Т. В. Мирошниченко*
Дизайн обложки *М. В. Арпуль*

• Издательство Маковецкий Юрий Вадимович
Свидетельство ДК № 2665 от 25.10.2006 г.
49000, Украина, г. Днепропетровск, ул. Плеханова, 16, к.14
Тел. (056) 798-33-64, факс (0562) 36-79-93
e-mail: europress@ gala.net

Отпечатано:
ООО фирма „Вега” г. Днепропетровск,
ул. Наб.Ленина, 9, тел. (056) 370-30-22.
Подписано в печать 02.07.2012. Формат 29,7х42 ¹/₄.
Бумага офсетная. Печать - ризограф. Услов.печ.л. 10,88.
Тираж 300 экз. Заказ № 50 от 04.07.2012 г.



ISBN 966150791-0



9 789661 507912