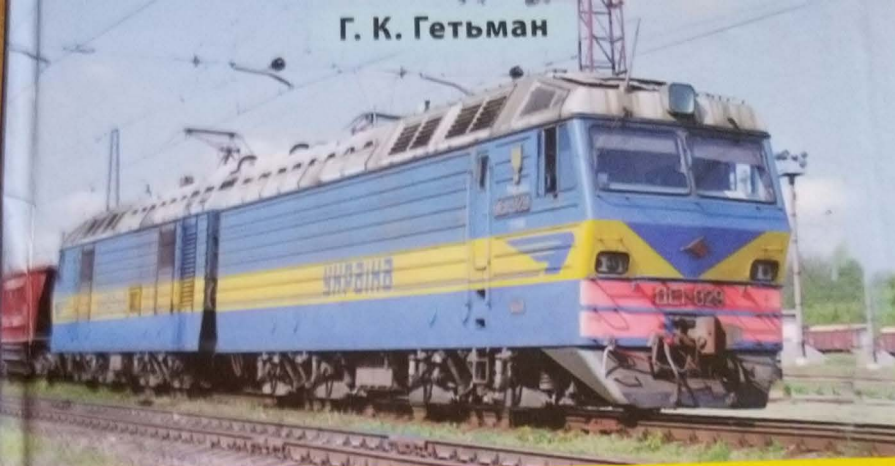


Г. К. Гетьман



**Научные основы определения
рационального мощностного ряда
тяговых средств
железнодорожного транспорта**



ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
ИМЕНИ АКАДЕМИКА В. ЛАЗАРЯНА

Г. К. Гетьман

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
РАЦИОНАЛЬНОГО МОЩНОСТНОГО РЯДА
ТЯГОВЫХ СРЕДСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ТРАНСПОРТА**

Днепропетровск
2008

Наукове видання

Генадій Кузьмич Гетьман

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
РАЦИОНАЛЬНОГО МОЩНОСТНОГО РЯДА
ТЯГОВЫХ СРЕДСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ТРАНСПОРТА**

Монографія

Російською мовою

Науковий редактор І. П. Корженевич

Комп'ютерний набір Т. В. Шевченко

Комп'ютерна верстка О. В. Гоц

Редактор О. Д. Парфененко

Здано до набору 12.03.2007 р. Підп. до друку 21.07.2008 р.
Формат 60х84 1/16. Папір офсетний. Гарн. Таймс. Друк офсетний.
Ум. друк. арк. 11,28. Ум. фарбо. – відб. 11,28. Обл.-вид. арк. 13,34.
Тираж 500 прим. Зам. № 543.

Видавництво Дніпропетровського національного університету залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна. ДК № 1315 від 31.03.2003

Друкарня «Нова ідеологія», м. Дніпропетровськ, вул. Гоголя, 15-а

СОДЕРЖАНИЕ

Содержание	3
Предисловие	7
Введение	9
Глава 1. Анализ работ по определению основных параметров и рациональной градации мощности тяговых средств	15
1.1. Анализ методов определения оптимальных значений основных параметров перевозочного процесса в задачах тягового обеспечения	16
1.2. Аналитический обзор методов определения рационального мощностного ряда тяговых средств	24
1.2.1. Автомобильный транспорт	24
1.2.2. Водный транспорт	25
1.2.3. Воздушный транспорт	26
1.2.4. Железнодорожный транспорт	27
1.3. Анализ методов оптимизации параметрических рядов машин	30
1.4. Задачи исследования	35
Глава 2. Определение оптимальной мощности локомотива при заданной массе состава	37
2.1. Математическая модель движения поезда для производства тяговых расчетов в задачах выбора параметров тяговых средств	37
2.2. Качественное исследование взаимосвязи затрат энергии на движение поезда и потребной мощности локомотива	45
2.3. Моделирование предельных тяговых характеристик грузовых электровозов	51
2.4. Универсальные тягово-энергетические характеристики электроподвижного состава	66
2.5. Особенности определения мощности тяговых средств для пассажирского движения	74
Глава 3. Применение методов векторной оптимизации к решению двухкритериальной задачи оптимизации тяговых расчетов	85
3.1. Решение двухкритериальных задач методами векторной оптимизации	86
3.2. Применение параметризации для решения задачи тяговых расчетов как задачи векторной оптимизации	93
3.2.1. Анализ задачи тяговых расчетов как задачи векторной оптимизации	94
3.2.2. Элементарная задача тяговых расчетов	99
3.3. Обобщенная структура оптимальной траектории	112
3.3.1. Оптимальная кривая скорости на элементе пути	112

3.3.2. Качественное исследование зависимости $a(T)$	115
3.4. Обоснование эффективного алгоритма двухпараметрической оптимизации тяговых расчетов	117
Глава 4. Методика определения рациональной градации мощности грузовых локомотивов	123
4.1. Определение оптимальной градации мощности локомотивов на основании теоретического закона распределения массы составов	124
4.2. Определение оптимальной градации мощности локомотивов при дискретном распределении массы составов	138
4.3. Моделирование характеристик распределения массы составов.....	148
4.4. Моделирование взаимосвязи средней массы и нормы массы поездов при ограничении продолжительности процесса формирования.....	157
4.5. Выбор градации мощности локомотивов для полигона тяги.....	168
4.6. Определение показателей оптимизации для пассажирского движения.....	174
4.6.1. Применение локомотивов двух типов.....	177
4.6.2. Применение локомотивов одного типа	178
4.7. Свойства решения задачи выбора рациональной мощности тягового модуля.....	196
Глава 5. Определение рациональной стратегии перехода железных дорог Украины на новый мощностной ряд грузовых электровозов.....	199
5.1. Определение рационального распределения заказов на поставку локомотивов	199
5.1.1. Рациональное распределение заказов на поставку одного типа локомотива	199
5.1.2. Рациональное распределение заказов на поставку нескольких типов локомотивов	205
5.1.3. Распределение заказов на поставку локомотивов с учетом требования целочисленности решения	209
5.2. Учет временного фактора в задачах рационального распределения заказов на поставку новых локомотивов	215
5.3. Применение принципа максимума Л.С. Понтрягина для решения задачи рационального распределения заказа на поставку локомотивов..	223
5.4. Моделирование рационального формирования парка локомотивов .	236
5.4.1. Моделирование состояний локомотивного парка	237
5.4.2. Исследование математической модели состояния локомотивного парка	240
5.4.3. Задача оптимального управления для приближенной модели	244

Глава 6. Определение рациональной градации мощности грузовых электровозов для железных дорог Украины	252
6.1. Анализ распределения грузооборота на электрифицированных участках железных дорог Украины.....	252
6.2. Определение оптимальных расчетных скоростей грузовых электровозов для условий железных дорог Украины.....	256
6.2.1. Расчет оптимальных кривых движения поезда	257
6.2.2. Обоснование алгоритма определения оптимального значения расчетной скорости	264
6.2.3. Определение рациональных уровней расчетной скорости и удельной мощности грузовых электровозов.....	273
6.3. Определение оптимальной градации мощности грузовых электровозов с учетом особенностей эксплуатации подвижного состава на конкретной железнодорожной линии	278
6.3.1. Определение закона распределения потребной мощности локомотива	278
6.3.2. Оценка соответствия мощности эксплуатируемых на железных дорогах Украины грузовых электровозов и параметров перевозочного процесса.....	293
6.3.3. Алгоритм определения оптимальной градации мощности тягового модуля для конкретной железнодорожной линии	299
6.3.4. Анализ результатов определения оптимальной градации мощности грузовых электровозов для железных дорог Украины.....	307
Список использованных источников	336
Приложение А. Статистические данные о грузообороте электрифицированных участков железных дорог Украины.....	357
Приложение Б. Результаты двухпараметрической оптимизации тяговых расчетов	366
Приложение В. Зависимость оптимальных значений расчетной скорости грузовых электровозов от ходовой скорости	375
Приложение Д. Гистограммы распределения потребных мощностей.....	379
Приложение Е. Исходные данные для определения оптимальной градации мощности грузовых электровозов железных дорог Украины	393
Приложение Ж. Результаты расчета оптимальной градации мощности грузовых электровозов для Одесской железной дороги	397
Приложение З. Результат расчета оптимальной градации мощности грузовых электровозов для основного хода Приднепровской железной дороги	401
Приложение К. Результат расчета оптимальной градации мощности грузовых электровозов для участка Львов – Мукачево – Чоп Львовской железной дороги	405
Приложение Л. Результаты расчета оптимальной градации мощности грузовых электровозов для Юго-западной железной дороги.....	409

Приложение М. Результаты расчета оптимальной градации мощности грузовых электровозов для Донецкой железной дороги.....	413
Приложение Н. Результаты расчета оптимальной градации мощности грузовых электровозов для Приднепровской и Донецкой железных дорог	419
Приложение П. Гистограммы распределения фактической массы проездов для участков наиболее грузонапряженных электрифицированных линий.....	426

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая книга представляет собой переработанную и дополненную диссертационную работу автора «Научные основы определения рационального мощностного ряда грузовых электровозов для железных дорог Украины».

В книге изложены научные подходы и методики решения основных задач проблемы выбора рационального мощностного ряда тяговых средств железнодорожного транспорта.

Основное внимание уделено магистральным грузовым и пассажирским электровозам, однако предложенные подходы к решению задач применимы практически ко всем видам тяговых средств железнодорожного транспорта (магистральные и маневровые тепловозы, электротранспорт промышленных предприятий и т.д.).

По мнению автора при решении задачи обновления локомотивного парка целесообразно реализовать идею проф. А. А. Босова об использовании для вождения поездов тяговых сцепов, сформированных из отдельных тяговых модулей. В связи с этим при определении рациональной градации мощности грузовых электровозов для железных дорог Украины расчеты выполнены, исходя из условия применения однотипных тяговых модулей.

В условиях рыночных отношений масса поездов может определяться не, как обычно, из условия решения двудеиной задачи – полного использования мощности тяговых средств и длины приемоправочных путей станций, то есть согласно доминирующему в настоящее время правилу формирования грузовых поездов, а допустимой продолжительностью процесса формирования поездов, установленной из условия обеспечения конкурентоспособности железнодорожных перевозок по времени транспортировки грузов. Из этих соображений в книге приведены результаты исследования зависимости законов распределения вероятностей массы поездов и потребной мощности грузовых электровозов от продолжительности процесса формирования и характеристик грузообразующих источников.

Отдельная глава книги посвящена оптимизации распределения заказов на поставку локомотивов, а также оптимизации объемов и сроков приобретения новой техники. Указанные задачи, непосредственно не относящиеся к оптимизации мощностного ряда локомоти-

вов, рассмотрены в книге, поскольку разработка оптимальной стратегии перехода железных дорог на новый подвижной состав с неизбежностью приводит к решению такого рода задач.

В приложениях содержатся статистические данные о массе грузовых поездов, потребной мощности тяговых средств и величине грузопотоков на основных поездо-участках железных дорог Украины, которые могут представлять интерес для широкого круга инженерно-технических работников железнодорожного транспорта.

Книга рассчитана на читателя, изучившего дисциплину «Теория электрической тяги». Для решения двухкритериальных задач оптимизации тяговых расчетов и мощностного ряда тяговых средств используются методы векторной оптимизации, поэтому в главе 3 рассмотрены приемы решения таких задач на примере задачи оптимизации параметров транспортной системы.

Автор считает своим долгом выразить глубокую признательность проф. А. А. Босову за помощь, оказанную при проведении исследований, результаты которых изложены в главах 3-5, а также сотрудникам кафедры «Электрический подвижной состав» инж. Д. Ю. Курасову, инж. С. В. Арпулю и инж. Т. В. Мирошниченко за помощь в оформлении рукописи и работу по редактированию книги. Автор также благодарен проф. А. А. Босову, проф. В. А. Браташу и проф. Э. Д. Тартаковскому за замечания и рекомендации, сделанные при рецензировании книги.

Замечания и пожелания по книге просьба присылать по адресу: Украина, 49010, г. Днепропетровск, ул. академика Лазаряна, 2, ДНУЖТ, кафедра ЭПС.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях, когда страна вступила в систему рыночных отношений, стабильность функционирования железнодорожного транспорта Украины определяется степенью рационализации эксплуатационной работы, обеспечивающей конкурентоспособность железнодорожных перевозок по сравнению с альтернативными видами транспорта.

Рационализация перевозочного процесса невозможна без определения необходимого уровня технической оснащенности железных дорог, который определяется параметрами тяговых и маневровых средств, длиной приемо-отправочных путей станций и допускаемыми максимальными скоростями движения, параметрами системы тягового электроснабжения и т.д.

Основной продукцией транспортных систем и железнодорожной в частности является оказание услуг по перемещению грузов и пассажиров. Транспортные услуги следует рассматривать как товар, обладающий определенными характеристиками. В настоящее время, время становления рыночных отношений, рациональность деятельности транспортной отрасли определяют:

- время доставки (грузов или пассажиров);
- сохранность (грузов) и безопасность;
- стоимость доставки (тарифы).

Уровень, на котором должны поддерживаться перечисленные характеристики, определяется состоянием экономики в целом и параметрами транспортной системы.

Основными факторами, определяющими время доставки, сохранность (безопасность) и стоимость доставки, являются состояние пути и подвижного состава.

О состоянии подвижного состава железных дорог Украины можно судить на основании данных табл. В.1.

Из 1302 единиц грузовых магистральных электровозов на 01.01.2005 г. 706 или 54 % полностью выработали свой ресурс. До 2010 г. должно быть исключено из инвентарного парка 67 электровозов, срок службы которых уже продлен на 20 лет, а до 2015 года – 408 (31 % парка) таких электровозов. Из 483 единиц пассажирских электровозов срок службы полностью выработали 349 единиц (72 %). До 2010 г. из парка должно быть исключено 95 электровозов (20 %) с продленным на 15-20 лет сроком старения. Всего до 2015 года должно быть списано 302 электровоза с продленным сроком службы, т. е. 63 % парка.

Таблица В.1

**Инвентарный парк тягового подвижного состава железных дорог
Украины по состоянию на 01.01.2005г. и прогнозируемые объемы
списания-закупки тяговых средств за период 2005-2010 г.г.**

Вид подвижного состава	Инвентар- ный парк на 01.01.2005г.	Прогноз на 2005-2010 г.г.	
		списание	закупка
1. Электровозы грузовые:			
– постоянного тока	748	137	54
– переменного тока	504	4	22
– двойного питания	50	–	14
2. Электровозы пассажирские:			
– постоянного тока	283	140	53
– переменного тока	208	36	58
3. Секции электропоездов:			
– постоянного тока	836	426	476
– переменного тока	615	425	76
4. Тепловозы:			
– грузовые	896	22	23
– пассажирские	67	–	–
– маневровые	1559	55	–
5. Вагоны дизель-поезда	886	98	175

Из 1451 секции электропоездов инвентарного парка до 2005 года 659 исчерпали свой ресурс.

Естественное старение локомотивного парка и наблюдающаяся тенденция роста объема перевозок железных дорог Украины требуют обновления локомотивного парка и, в первую очередь, электрического подвижного состава, поскольку большая часть перевозочной работы приходится на электрифицированные участки железных дорог.

Последнее десятилетие наблюдается устойчивая тенденция роста доли электрической тяги в общем объеме перевозок, о которой свидетельствуют данные табл. В.2. В 2004 году на электрифицированных участках выполнено 82 % грузовых и 70 % пассажирских перевозок. Кроме того, учитывая более высокую экономическую эффективность электрической тяги по сравнению с тепловозной, будет продолжаться электрификация железных дорог Украины.

Таблица В.2

**Динамика удельного веса электротяги в эксплуатационном
грузообороте (%) на железных дорогах Украины**

Год	Дороги						Украина
	Донец- кая	Придне- пров- ская	Южная	Юго- Запад- ная	Одес- ская	Львов- ская	
1996	84,8	93,7	49,8	92,8	86,4	75,1	84,7
1995	84,5	92,6	53,3	91,1	85,1	72,5	83,7
1994	84,2	90,8	49,7	88,0	84,6	74,5	82,3
1993	80,9	88,0	48,4	83,4	76,6	73,6	77,8
1992	72,6	78,7	44,3	69,5	59,8	64,6	66,4
1991	69,3	76,9	44,0	65,5	52,3	59,6	61,9
1990	69,6	77,1	44,6	65,2	50,9	58,3	61,7

До 2010 г. общая эксплуатационная длина железных дорог Украины должна составить приблизительно 10300 км (46,8 % от всей длины основных путей Укрзалізниці).

Участки, на которых планируется осуществить за 2006-2010 годы переход на электротягу, приведены в таблице В.3.

Таблица В.3

План электрификации железных дорог Украины на 2006-2010 год

Железная доро- га	Год введения в действие	Участок	Протяженность, км
Донецкая	2006	Дебальцево – Коммунарск	35
Южная	2007	Люботин – Полтава	116
	2008	Полтава Южная – Кремен- чуг – Бурты	138
	2008	Кременчуг – Користовка	58
Юго-Западная	2006	Коростень – Шепетовка	152
Одесская	2007	Долинская – Николаев	148
	2008	Николаев – Херсон	55
	2009	Херсон – Джанкой	191

Из изложенного выше следует, что для освоения растущих объемов перевозок и обеспечения их доходности необходимо обновление парка тягового электроподвижного состава. Прогнозируемые объемы поставок нового тягового подвижного состава приведены в табл. В.1.

Практическое решение этой задачи требует больших материальных издержек в условиях, когда железнодорожный транспорт не располагает достаточными средствами на развитие и обновление производственной базы [1]. По этой причине исключительно важным является грамотное определение основных параметров вводимых в эксплуатацию новых электровозов, чтобы избежать затрат на приобретение малоэффективного тягового подвижного состава и получить максимальный экономический эффект за счет рационализации эксплуатационной работы железных дорог.

Основные параметры тяговых средств: касательная мощность и сила тяги определяют главные показатели эксплуатации железных дорог – массу и скорость движения поездов. Поэтому определение параметров перспективных тяговых средств – одна из важнейших проблем в обеспечении оптимизации перевозочного процесса железных дорог.

Теоретическая особенность этой проблемы состоит в том, что требуемая мощность локомотива является величиной случайной, так как случайный характер носит и ряд ее определяющих величин, например, масса поезда. Поскольку в эксплуатации может находиться не один, а конечное число локомотивов определенной мощности, то задача определения мощности локомотивов сводится, по сути, к определению оптимальной градации мощности или оптимального мощностного ряда локомотивов.

Необходимость обновления локомотивного парка и факт вступления страны в систему рыночной экономики, когда для рынка транспортных услуг характерна жесткая конкуренция между видами транспорта, борьба за клиента, стремление увеличить объемы перевозок и получить максимальную прибыль, выдвигают задачу разработки научных основ определения оптимального мощностного ряда электровозов применительно к изменившимся условиям работы железных дорог в ряд наиболее актуальных задач, стоящих перед железнодорожным транспортом Украины.

Целью исследования, результаты которого изложены в книге, является разработка научных основ и практических рекомендаций по выбору основных параметров и рационального мощностного ряда грузовых и пассажирских электровозов, обеспечивающих конкурентоспособность и эффективность железнодорожных перевозок.

В соответствии с поставленной целью основными задачами исследования является:

- разработка методик определения: оптимальной потребной мощности электровозов с учетом случайного характера изменения массы поездов; параметров закона распределения частот массы составов и оптимальной потребной мощности электровозов с учетом ограничения продолжительности процесса формирования грузовых поездов; оптимальной градации мощности электровозов для обеспечения грузовых и пассажирских перевозок на полигоне тяги;

- выработка рекомендаций по выбору основных внешних параметров перспективных электровозов для обеспечения грузовых и пассажирских перевозок на железных дорогах Украины.

Выбранное направление исследований определено необходимостью решения научных задач, возникших при выполнении Укрзалізницею и ГП «НПО «Электровозостроение» Государственной программы «Электротехника» (подпрограмма «Электровозостроение»), комплексной Государственной программы энергосбережения Украины, утвержденной постановлением Кабинета Министров Украины №148 от 05.02.97 г. (раздел «Транспорт»), Государственной программы развития железнодорожного транспорта Украины и постановления Кабинета Министров Украины №480 от 26.06.93 г. «Про розробку та виробництво в 1993–2000 роках магістральних вантажних та пасажирських електровозів», которыми предусматривалось создание нового электроподвижного состава для железных дорог Украины, в первую очередь магистральных грузовых и пассажирских электровозов.

В ходе выполнения указанных программ приказом Минмашпрома, военно-промышленного комплекса и Укрзалізниці №6 от 21.4.92 и Министерства Транспорта Украины №217 от 03.05.94 г. на Днепропетровский государственный технический университет железнодорожного транспорта были возложены обязанности головной организации в части разработки технических требований, экспертизы технических решений и программы государственных испытаний создаваемых на Украине электровозов. Разработка технических требований на вновь создаваемые электровозы выполнялась кафедрой «Электрический подвижной состав» под руководством автора.

Основная часть приведенных в книге научных результатов получена в ходе выполнения под руководством автора предусмотренных планами работ Укрзалізниці научно-исследовательских работ: «Анализ состояния электровозного парка и разработка технических требований на вновь создаваемые электровозы для железных дорог Украины» /№ г. р. 0194V002462/, «Определение рационального мощностного ряда электровозов для обеспечения грузовых и пассажирских перевозок железных дорог Украины» /№ г. р. 0100V003185/ и «Выбор оптимальных параметров перспективных электровозов» /№ г. р. 0103U007763/.

АНАЛИЗ РАБОТ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РАЦИОНАЛЬНОЙ ГРАДАЦИИ МОЩНОСТИ ТЯГОВЫХ СРЕДСТВ

Техническая характеристика и тяговые свойства электровозов определяются следующими основными параметрами:

- 1) мощность номинального (продолжительного) режима работы;
- 2) сила тяги и скорость номинального режима;
- 3) осевая формула;
- 4) сцепная масса электровоза;
- 5) нагрузка от оси электровоза на рельсы;
- 6) род тока и величина напряжения в контактной сети;
- 7) конструкционная скорость;
- 8) ширина железнодорожной колеи;
- 9) минимальный радиус проходимых кривых;
- 10) стоимость электровоза;
- 11) вид и эффективность используемых тормозных средств.

Перечисленные параметры определяют ряд производных технических характеристик электровозов, которые необходимы при решении службами эксплуатации задач тягового обеспечения перевозок. К таким характеристикам относятся прежде всего: скорость и сила тяги расчетного режима, сила тяги при трогании, сила тяги при конструкционной скорости. Именно этими характеристиками определяются возможные пределы вариации основных показателей эксплуатации железных дорог – массы и скорости движения поездов.

Можно показать (см. п. 2.2), что перечисленные выше характеристики при заданном роде тока и типе тягового электропривода определяются двумя параметрами электровоза – мощностью номинального режима и расчетной скоростью, т.е. скоростью движения на расчетном подъеме. Эти параметры должны быть определены в первую очередь при формировании технических требований на поставляемые электровозы.

Проблема выбора основных параметров и, в частности, рациональной градации мощности тяговых средств находилась в поле зрения железнодорожной (отраслевой) науки практически в течение всей истории внедрения и эксплуатации железнодорожного транспорта.

Среди работ, посвященных проблеме определения параметров тяговых средств, наиболее важные результаты получены известными учеными: Ю. В. Ломоносовым, Б. Д. Воскресенским, Е. Е. Нойтельном, А. В. Вульфом, Д. А. Штанге, А. М. Бабичковым, С. П. Сыромятниковым, Л. В. Сломянским, А. Е. Гибшманом, Г. И. Черномордиком, Б. Э. Пейсахзоном, Н. А. Фуфрянским, Б. Н. Тихменевым, И. П. Исаевым, В. Е. Розенфельдом, К. К. Тихоновым, Л. К. Пойловым, О. А. Некрасовым, В. А. Браташом, Б. Р. Бондаренко и др.

Выполненные работы по определению оптимальной мощности локомотивов по конечной цели решаемых задач целесообразно разделить на две группы.

К первой группе относятся работы, основной целью которых является определение оптимальных значений основных параметров перевозочного процесса (массы поезда и ходовой скорости) и выбор характеристик тяговых средств, обеспечивающих реализацию оптимальных параметров.

Вторая группа объединяет исследования, основная цель которых состоит в определении структуры локомотивного парка, т.е. в определении оптимальной градации мощности или мощностного ряда локомотивов.

Определение оптимального мощностного ряда локомотивов требует взаимоувязанного рассмотрения указанных выше двух типов задач, поэтому ниже приведен анализ известных подходов к их решению.

1.1. Анализ методов определения оптимальных значений основных параметров перевозочного процесса в задачах тягового обеспечения

Рациональность освоения заданных грузопотоков на железнодорожном участке или направлении может быть оценена целым рядом локальных критериев, каждому из которых соответствует своя кри-

териальная модель перевозочного процесса и свои параметры управления. Однако в качестве общих параметров управления целесообразно принять массу поездов и ходовую скорость. Как явствует из целого ряда исследований [2–7], эти показатели являются универсальными параметрами управления для всех локальных критериев, так как определяют физическое и экономическое состояние перевозочного процесса и могут быть приняты в качестве его базисных параметров.

Следует отметить, что основной параметр локомотива – его потребная номинальная мощность – определяется массой поезда и его скоростью движения на расчетном подъеме. Поэтому задача определения рациональной структуры локомотивного парка не может быть решена в отрыве от задачи выбора массы и скорости движения поездов.

В данном подразделе проведен аналитический обзор методов выбора рациональной нормы массы и ходовой скорости поездов.

Вопросам рационализации перевозочного процесса и выбору определяющих рациональный режим перевозок факторов посвящено значительное число исследований [2–10]. Их подробный научный анализ приведен в [4, 5].

В наиболее завершенном виде решение задачи выбора рационального сочетания массы и скорости движения поездов получено, на наш взгляд, в работах профессора К. К. Тихонова [4–8], в которых по существу впервые выдвинута комплексная постановка задачи, когда учитывается реальный диапазон изменения массы и скорости движения поездов, а также параметры технических средств.

Рассматривается перевозочный процесс на некотором участке как управляемая физическая система, состоящая из некоторого числа размещенных в пространстве (на участке) и во времени грузовых поездов, а в качестве оценки эффективности работы системы принимаются приведенные перевозочные затраты.

К основным факторам, влияющим на приведенные перевозочные затраты, как и в большинстве исследований, отнесены масса поезда и ходовая скорость. Вводится понятие нормы массы (весовой нормы) Q_n – максимальной массы поезда, которую целесообразно установить на данном участке.

Наряду с понятием нормы массы вводится понятие средней массы поезда, которая определяет размеры движения и экономику перевозочного процесса.

Что касается скорости движения поезда, то в качестве определяющих принимаются: скорость на расчетном подъеме и ходовая скорость.

В работе [2] приведенные перевозочные затраты на измеритель предлагается оценивать по формуле

$$\sigma = \frac{10}{4} \gamma'_{\text{пч}} \left(\frac{Q_{\text{бр}}^*}{Q_{\text{н}}^* V_x} \right) + C_3 R_{\text{л}} \left(Q_{\text{бр}}^*, Q_{\text{н}}^*, V_x \right) + e_{\text{лкм}} + f \quad (1.1)$$

$$+ 365 \cdot 10^5 C_{\text{пф}} C_{\text{тч}} Q_{\text{бр}}^* 0,27 + \frac{1610}{Q_{\text{бр}}^*}$$

где $Q_{\text{бр}}^*$ – средневзвешенная масса поездов брутто, т;

$Q_{\text{н}}$ – норма массы поездов брутто, т;

V_x – ходовая скорость, км/ч;

$V_{\text{уч}}$ – участковая скорость, км/ч;

$\gamma'_{\text{пч}}(Q_{\text{бр}}^*, Q_{\text{н}}^*, V_x)$ – расчетная стоимость груженого поезда-часа на участке, руб.;

C_3 – расходная ставка затрат на 1 ткм механической работы локомотива и приравненной к ней механической работы преодоления сил сопротивления движению поезда, руб.;

$R_{\text{л}}^{\text{км}}(Q_{\text{бр}}^*, Q_{\text{н}}^*, V_x)$ – механическая работа локомотива или прирав-

ненная к ней механическая работа по преодолению сил сопротивления движению, отнесенная на 1 км длины, ткм/км;

$e_{\text{лкм}}$ – расходная ставка затрат, пропорциональных пробегу локомотива, руб.;

$c_{\text{пф}}$ – расчетный параметр накопления вагонов в пунктах формирования поездов;

$C_{\text{тч}}$ – расчетная стоимость 1 тонно-часа брутто груженого вагонопотока, руб.

Анализ формулы (1.1) показывает, что расчетная стоимость груженого поезда-часа существенно зависит от стоимости локомотива, которая, в свою очередь, определяется через касательную мощность локомотива по эмпирической зависимости

$$B_{\text{лок}} = n_k N_k + f_k, \quad (1.2)$$

где n_k, f_k – постоянные коэффициенты;

N_k – касательная мощность локомотива при следовании с поездом оптимальной нормы массы по расчетному подъему с оптимальной расчетной установившейся скоростью.

Касательную мощность локомотива, как функцию от нормы массы и установившейся скорости на расчетном подъеме, предлагается вычислять по формуле

$$N_k = \frac{3,707 K_o Q_n V_p' x + \frac{100 + y V_p^2}{8} \left(a + b V_p + c V_p^2 + i_p \right)^{\infty}}{1000 x + \frac{100 + y V_p^2}{100 + y V_p^2} - \left(a + b V_p + d_p^2 + i_p \right)}, \quad (1.3)$$

где K_o – коэффициент, учитывающий степень использования сцепного веса локомотива в расчетной силе тяги (отношение силы тяги по сцеплению на расчетном подъеме к расчетной силе тяги: для электровозов $K_o = 1$, для тепловозов $K_o = 0,75 \dots 0,975$;

a, b, c – коэффициенты из зависимости основного удельного сопротивления движению поезда $\left(\omega_o = a + b V + c V^2 \right)$;

V_p – установившаяся скорость на расчетном подъеме, км/ч;

i_p – расчетный подъем (‰);

x, y – коэффициенты, характеризующие зависимость сцепления колес локомотива с рельсами (тепловозы и электровозы постоянного тока: $x = 0,21$, $y = 20$; электровозы переменного тока: $x = 0,28$, $y = 15$).

Расчетную скорость V_p , входящую в (1.3), вычисляют через ходовую по соотношению

$$V_p = \frac{r v_x}{s - V_x},$$

где r, s – коэффициенты, зависящие от видов тяги и типов профилей пути [8].

Участковая скорость в выражении (1.1) представляется как функция от ходовой скорости и вычисляется по формуле

$$V_{уч} = \beta_x V_x,$$

где коэффициент β_x определяется по предложенной проф. Б. М. Максимовичем формуле [9].

Средневзвешенная масса поездов $Q_{\delta p}^*$, входящая в выражение (1.1), определяется через норму массы Q_n в виде

$$Q_{\delta p}^* = \frac{p^* (L_{по} - 50)}{\alpha + \frac{L_{ст} - 50}{\alpha p}}, \quad (1.4)$$

$$\sum_{i=1}^i \overline{Q_n} \sum_{i=x+1}^i i$$

где p^* – средневзвешенная погонная нагрузка, т/пог.м;

$L_{по}$ – длина станционных приемо-отправочных путей, м;

α_i – частота i -того разряда гистограммы распределения погонной нагрузки ($i = \overline{1, k}$);

p_i – значение поездной погонной нагрузки i -того разряда гисто-

граммы распределения, т/пог.м;

x — точка на оси абсцисс гистограммы, определяющая расчетную погонную нагрузку p_p и соответствующую ей норму массы

$$Q_n = p_p (L_{\text{по}} - 50) .$$

Рассмотрим более подробно соотношение (1.4) для средневзвешенного значения массы поезда $Q_{\text{бр}}^*$, введя плотность распределения вероятностей поездных погонных нагрузок $f(p)$. Тогда аналогом (1.4) будет

$$Q_{\text{бр}}^* = \frac{\overline{p}_{\text{по}}}{\overline{p}} \frac{p^* (L_{\text{по}} - 50)}{L_{\text{по}} - 50\overline{p}} \quad (1.5)$$

$$\overline{p} = \frac{\int_{\underline{p}}^{\overline{p}} f(p) dp}{\int_{\underline{p}}^{\overline{p}} pf(p) dp} + Q_n$$

где $\underline{p}, \overline{p}$ — минимальное и максимальное значения погонных нагрузок;

$\overline{p} = \frac{\int_{\underline{p}}^{\overline{p}} pf(p) dp}{\int_{\underline{p}}^{\overline{p}} f(p) dp}$ — среднее значение поездной погонной нагрузки.

Основным понятием в (1.4) и (1.5) является поездная погонная нагрузка вагонопотока данного груза p , которая определяется по формуле

$$p = \frac{q_{\text{ст}}^p + q_{\text{т}}^{\text{ср}}}{l_{\text{ваг}}^{\text{уч}}},$$

где $q_{\text{ст}}^p$ — статическая нагрузка вагона для данного груза, т;

$q_{\text{т}}^{\text{ср}}$ — средняя масса тары вагона для данного груза, т;

$l_{\text{ваг}}^{\text{уч}}$ — средняя длина вагона.

Поездная погонная нагрузка может быть представлена также в

$$p = \frac{\sum_{i=1}^k \chi_i (\lambda_i q_{гр.i} + q_{т.i})}{\sum_{i=1}^k \chi_i l_{ваг.i}},$$

где χ_i – доля вагонов i -того типа в общем составе вагонопотока для рассматриваемого груза ($i = \overline{1, k}$);

λ_i – степень использования грузоподъемности вагонов i -того типа при перевозке данного груза;

$q_{гр.i}, q_{т.i}$ – грузоподъемность и вес тары вагонов i -того типа, т;

$l_{ваг.i}$ – длина вагонов i -того типа, м.

Зная структуру грузопотока для рассматриваемого направления и структуру вагонного парка, используемого на данном направлении, теоретически можно построить функцию распределения вероятностей для погонной нагрузки поездов исследуемого направления.

Используя соотношение (1.4) или (1.5) в зависимости (1.1), можно заменить $Q_{ор}^*$ через Q_n и тем самым приведенные затраты представить как функцию от двух переменных Q_n и V_x .

Если установить оптимальные значения нормы массы $Q_{норт}$ и ходовой скорости $V_{хорт}$, при которых приведенные перевозочные затраты, определяемые по формуле (1.1), принимают минимальное значение, то подстановкой их в (1.3) определяется рациональная касательная мощность локомотива для рассматриваемого направления.

Проанализируем возможность применения изложенной методики для решения задач определения рациональной градации мощности локомотивов. Нетрудно видеть, что в соответствии с вышеизложенным подходом определение мощности локомотива можно представить в виде процедуры, предусматривающей решение следующих задач:

- определение оптимальных значений ходовой скорости $V_{хорт}$ и нормы массы $Q_{норт}$ из условия минимизации приведенных сопоставимых затрат;
- определение расчетной скорости V_p локомотива, при которой может быть обеспечена реализация $V_{хорт}$ на заданной линии;
- определение соответствующей известному закону распределения поездной погонной нагрузки и оптимальному значению средней массы поезда нормы массы поездов и соответствующей этой норме мощности локомотива.

В приведенной процедуре решения задачи важным звеном является определение расчетной скорости, которая фигурирует в выражении (1.3). Предложенное в [8] выражение зависимости $V_p(V_x)$ включает, как показано выше, коэффициенты r и S . Их определение базируется на результатах тяговых расчетов.

Однако тяговые расчеты могут быть проведены только в случае, когда известны тяговые характеристики локомотива. Поскольку при решении задач тягового обеспечения на перспективу, в которых определение основных параметров локомотива представляют основную цель, тяговые характеристики неизвестны, то вопрос определения зависимости $V_p(V_x)$ требует более детальной проработки.

На наш взгляд, для нынешних условий расчетную скорость электровоза следует отнести к основным параметрам, подлежащим определению. Ее значение целесообразно определить из условия реализации заданной величины ходовой скорости при оптимизации режимов ведения поезда в соответствии с принятыми критериями оптимизации. В качестве одного из таких критериев обоснованно можно принять минимум затрат энергии на осуществление перевозок.

Рассмотренная методика не предусматривает решение задачи определения оптимальной градации мощности локомотивов и позволяет определить мощность, соответствующую наибольшему значению массы поезда. При этом отрицательное влияние избыточной мощности локомотивного парка, неизбежного в такой ситуации из-за случайного характера величины массы состава, на показатели эксплуатационной работы не учитывается.

Изложенный подход неявно базируется на существующем до настоящего времени правиле формирования поездов, когда максимальное значение их массы ограничено или длиной приемо-отправочных путей, или мощностью тяговых средств, т.е. требованием формирования или полносоставных, или полновесных поездов.

В заключение отметим, что установленные согласно рассмотренной методике масса и ходовая скорость поездов, а следовательно, и мощность тяговых средств, не учитывают ограничений, которые в условиях усиливающейся на рынке транспортных услуг конкуренции могут накладываться на время формирования поездов и скорость их движения, а также требований освоения грузопотоков при всемерной экономии ресурсов, основными из которых в данной задаче выступают затраты электроэнергии и суммарная мощность локомотивного парка, необходимого для осуществления перевозок.

1.2. Аналитический обзор методов определения рационального мощностного ряда тяговых средств

Вопросы, связанные с определением рациональной структуры подвижного состава, можно отнести к одним из первичных при формировании парка технических средств, потому что с течением времени изменяются как сами технические средства, так и условия их эксплуатации, что определяющим образом сказывается на экономике работы транспорта.

Рассмотрим известные постановки задач о структуре парка для различных видов транспорта (автомобильного, водного, воздушного и железнодорожного). Анализ задач выполним с позиций структуры парка, исходной информации и математической классификации соответствующих задач оптимизации.

1.2.1. Автомобильный транспорт. Работы в области автомобильного транспорта по рассматриваемому вопросу в основном представлены в одновариантной постановке [11, 12]. Определенным шагом в рационализации расчета структуры автомобильного парка являются работы [13, 14], где учтены условия эксплуатации (вид груза, климатические условия, профиль дороги и др.). Потребность в отдельных типах автомобилей определяется через производительность и грузооборот для каждого сочетания расчетных условий. А

фактически – это одновариантный расчет, но с учетом условий эксплуатации. Расчет потребного парка автомобилей с учетом физического износа машин по годам планируемого периода рассматривается в работе [15].

Таким образом, из этих моделей для дальнейшего необходимо воспользоваться учетом производительности подвижного состава при расчете потребного парка, т.е. производительность в том или ином виде будет одним из основных факторов, который должен быть учтен в построении модели. Среди оптимизационных постановок необходимо отметить работы [16, 17, 18], в которых для того или иного критерия оптимальности существует возможность выбора варианта рациональной структуры парка. Отметим, что в плане математической постановки рассмотренные в этих работах задачи представляют собой задачи линейного программирования.

1.2.2. Водный транспорт. На водном транспорте в основу методов расчета потребного парка положены производительность типов плавсостава и грузооборот. Первые модели расчета рациональной структуры флота были предложены в работе [19, 20] и усовершенствованы в [21, 22].

В математическом плане возникает задача определения $\{x_{ij}\}$, $i = \overline{1, n}$; $j = \overline{1, m}$ (x_{ij} – количество судов i -того типа на j -том направлении перевозок) таких, чтобы приведенные затраты

$$\Phi = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij}(x_i) x_{ij}$$

были бы минимальными и выполнялись ограничения:

– по объему перевозок

$$\sum_{i=1}^n P_{ij} x_{ij} = A_j, \quad j = \overline{1, m};$$

– по максимальной численности судов

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq \overline{M_i}, i = 1, n;$$

– и очевидному требованию

$$x_{ij} \geq 0, i = 1, n; j = 1, m.$$

В этой модели $C_{ij}(x_i)$ – приведенные затраты для судна i -того типа на j -том направлении перевозок, где

$$x_i = \sum_{j=1}^m x_{ij}.$$

1.2.3. Воздушный транспорт. В работе [23] одной из центральных задач комплексного планирования считается задача формирования самолетно-вертолетного парка при условии выполнения заданного объема работ с учетом ресурсных ограничений, а критерием оптимальности выбираются приведенные затраты.

Исходная задача отличается большой размерностью, поэтому в рассматриваемой работе предлагается искать решение на агрегированной сети авиалиний. Однако и в этой постановке задача остается нелинейной из-за себестоимости перевозок. Выполнив кусочно-постоянную аппроксимацию, переходят к задаче линейного программирования, на основании которой получены номограммы основных экономических показателей для различных ресурсных ограничений.

Выбор компромиссного варианта структуры самолетно-вертолетного парка производится по следующей схеме. Формируется исходное множество вариантов задания ресурсных ограничений. Для каждого из них определяется решение задачи и вычисляются значения основных экономических показателей. Выбирается компромиссный вариант, наилучшим образом удовлетворяющий всем показателям отрасли, а соответствующая ему структура самолетно-вертолетного парка является решением исходной задачи планирования. В предлагаемом литературном обзоре по воздушному транспорту ограничимся работой [23], так как в ней дана в наиболее концен-

трированном виде задача определения структуры парка и приведена обширная библиография по рассматриваемому вопросу.

1.2.4 Железнодорожный транспорт. Вопросы структуры локомотивного парка, т.е. выбора основных параметров локомотивов, являющиеся важной частью общей задачи определения путей развития и технического оснащения железных дорог, находились в поле зрения ученых-железнодорожников практически на протяжении всей истории развития железнодорожного транспорта. Исторический и аналитический обзор работ по этому вопросу, выполненных до 1960 года, приведен в [24, 25].

Отличительной особенностью выбора вариантов в отмеченных работах является анализ их с точки зрения энергетических затрат при последующем уточнении с позиций экономических потерь.

Анализ литературных источников показал, что выполненные исследования можно разделить на две группы. Первая группа работ характеризуется одновариантностью при большем или меньшем числе ограничений. Вторая группа представляет оптимизационные задачи, отличающиеся выбором критерия оптимальности или числом ограничений.

Одновариантные модели. Построение одновариантных моделей, как правило, осуществляется по следующей схеме: на основании объемов перевозок и производительности локомотивов [26, 27, 28, 29, 30, 31] определяются требуемые численности типов локомотивов, что однозначно определяет структуру парка. В основу этих моделей положены известные формулы типа

$$M = \frac{P K_p}{W T},$$

где P – объем перевозок в тех или иных единицах измерения, т, ткм и т.д.;

W – производительность локомотива (например, суточная);

T – период, за который надо выполнить заданный объем перевозок;

K_p – коэффициент «резерва», который в каждом случае носит конкретный инженерный смысл.

Так, в работе [32] коэффициенту K_p , который обозначается как $K_{\text{нер}}^0$, придается смысл коэффициента неравномерности перевозок, под W понимается расчетная годовая производительность локомотива, а данную формулу рекомендуют для расчета эксплуатационного парка локомотивов отрасли. Причем, если в качестве P взять годовой объем перевозок локомотивов некоторого типа, то все расчеты и параметры, входящие в данную формулу, должны быть отнесены к этому же типу локомотивов.

Подобную формулу в работе [31] предлагается использовать и на уровне предприятия или объединения. Причем здесь объемы работ локомотивов предлагается разбить на две группы: поездная работа и маневрово-хозяйственная работа.

Оптимизационные модели. Характерной особенностью оптимизационных моделей является наличие функции цели или критерия, с помощью которого отличают оптимальный вариант решения задачи. Проанализируем оптимизационные модели с точки зрения функции цели.

Все модели в первом приближении можно разбить на две группы. Первая группа включает модели, в которых в качестве функции цели взят экономический показатель. В моделях второй группы в качестве функции цели принимается технический показатель.

В качестве наиболее часто употребляемого экономического показателя используются приведенные затраты, состоящие из капитальных вложений и эксплуатационных расходов. Подобная постановка встречается в работах [11, 12, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38]. Ко второй группе работ, в которых в качестве функции цели принимаются неэкономические показатели, необходимо отнести [39, 40] и более ранние работы [2, 41, 42]. Учитывая важность для дальнейших построений математических моделей, остановимся на функции цели из работы [40]. По смысловому значению данный показатель представляет собой недоиспользованную (избыточную) мощность локомотивного парка и записывается в виде

$$\Phi = \sum_{i=1}^k \int_{C_{i-1}}^{C_i} (C_i - P) f(P) dP, \quad (1.6)$$

где C_i – мощность локомотива i -того типа;

$f(P)$ – распределение потребности числа локомотивов в зависимости от мощности P ;

k – число типов мощностного ряда.

Наиболее общая постановка задачи с экономическим показателем приведена в работе [42]. Заданными принимаются: объемы перевозок (работы) каждого элемента транспортной сети Γ_i^t по годам периода; количество существующих и перспективных типов подвижного состава S ($S = \overline{1, k}$); технико-экономические оценки типов подвижного состава. Требуется найти такие значения β_S , $S = \overline{1, k}$ (отношение численности подвижного состава типа S к общей численности парка подвижного состава), чтобы суммарные приведенные затраты за расчетный период были бы минимальными, т.е.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^{t_p} \frac{\mathcal{E}_t(\beta_S, \Gamma_i^t) + K_t(\beta_S, \Gamma_i^t)}{(1 + E_{nn})^t} \rightarrow \min \quad (1.7)$$

при условиях

$$\sum_{s=1}^k \beta_S = 1; \beta_S^{\min} \leq \beta_S \leq \beta_S^{\max}; \sum_i \Gamma_i^t \leq 365 \sum_S m_S r_S,$$

где $\mathcal{E}(\beta_S, \Gamma_i^t)$ – эксплуатационные расходы на перевозки;

$K_t(\beta_S, \Gamma_i^t)$ – затраты на приобретение подвижного состава;

$\beta_S^{\min}, \beta_S^{\max}$ – минимально и максимально допустимые значения доли подвижного состава типа S ;

m_S, r_S – численность и среднесуточная производительность подвижного состава типа S ;

E_{nn} – норматив приведения разновременных затрат;

t_p – расчетный период.

В соотношение (1.7) входят две существенные экономические со-

ставляющие: эксплуатационные расходы и капитальные затраты на

приобретение подвижного состава, которые рассматриваются как функции объемов перевозок Γ_i^t и характеристики структуры парка подвижного состава $\{\beta_S\}$, $S = \overline{1, k}$. Причем считается, что число типов подвижного состава k задано. Не останавливаясь на трудностях раскрытия указанных расходов, отметим, что при рассматриваемой постановке задачи, набор типов подвижного состава фиксирован.

Определенный сдвиг в отходе от фиксации типов подвижного состава имеет место, когда в качестве функции цели используется недоиспользованная мощность (1.6). Здесь фиксируется только число типов локомотивов, а какие эти k типов должны быть по мощности (C_i), определяется из условия минимума показателя (1.6). Однако, вопрос числа типов k остается открытым, потому что, если k устремить в ∞ , то значение $\Phi \rightarrow 0$.

В работах К. К. Тихонова и Ф. П. Кочнева [37, 38] в более развернутом виде дается экономический показатель – приведенные перевозочные затраты, которые содержат в себе как эксплуатационные расходы, так и затраты на технические средства (подвижной состав, обустройство приемо-отправочных путей, платформ и т.д.) и их содержание.

Несмотря на прозрачность составляющих перевозочных затрат в указанных работах, необходимо отметить, что в них нашли отражение особенности экономической формации прошлых лет, а потому в настоящее время, когда происходят существенные изменения экономических отношений, в показателях эффективности необходимо отразить современную ситуацию.

1.3. Анализ методов оптимизации параметрических рядов машин

Проблема определения оптимального мощностного ряда локомотивов по логике постановки и решения задач сходна с проблемой оптимизации параметрических рядов машин. По этой причине целесообразно проанализировать возможности использования применяемых для оптимизации параметрических рядов методов для решения основных задач, поставленных в данном исследовании.

Научные разработки в области оптимизации параметрических рядов достаточно полно отображены в монографии В. С. Антипенко, Г. Б. Каца и В. А. Петрушова [43].

Остановимся более подробно на данной работе, так как в ней выполнено четкое толкование цели и различных понятий задачи параметризации изделий. К основным понятиям относят:

- параметр (показатель) – числовая величина, характеризующая изделие в целом или его отдельные свойства;
- главный параметр – параметр, наиболее полно выражающий или регламентирующий технические и эксплуатационные свойства изделия, который остается постоянным при техническом усовершенствовании изделия в период действия типажа;
- основной параметр – показатель, зависящий от главного параметра и характеризующий или регламентирующий отдельные из наиболее важных технических и эксплуатационных свойств изделия, который изменяется при усовершенствовании изделия;
- параметрический ряд – упорядоченная совокупность числовых значений одного из параметров изделия, т.е. монотонно возрастающий или убывающий числовой ряд, как правило, с конечным числом членов ряда.

В работе приведено толкование таких понятий, как типоразмер (тип), типоразмерный ряд, модель изделия, базовая модель, модификация, производная модель и другие.

Важность этих определений заключается в том, что создаются предпосылки формирования специфического языка, облегчающего постановки различных вариантов задачи параметризации изделий и взаимного понимания между изготовителями изделий и их потребителями.

В рассматриваемой работе предлагается ввести следующие четыре класса параметров.

1. Стандартизационные, которые регламентируются международными, государственными, общемашиностроительными, отраслевыми и заводскими нормативами.
2. Конструкционные, формируемые в процессе конструирования изделия. Применительно к локомотивам к параметрам этого класса следует отнести: осевую формулу, сцепную массу, нагрузку от оси на рельс и т.п.

3. Производственные, характеризующие технологию и организацию производства и зависящие от объемов выпуска.

4. Эксплуатационные, отражающие условия и требования эксплуатации.

В каждом классе параметры в свою очередь разбиваются на качественные и количественные. При построении математических моделей в рассматриваемой работе используются только количественные показатели, а качественные рекомендуется использовать при анализе полученных результатов оптимизации типоразмеров.

Исходя из содержательного смысла параметров, можно видеть, что они могут характеризоваться как технические, и как экономические.

Экономические параметры подразделяются авторами исследования на производственные и эксплуатационные.

Среди производственных экономических показателей выделяются: себестоимость изготовления с учетом расхода материалов, нормативного коэффициента эффективности капитальных вложений в производство, удельных капитальных вложений в производство, удельных капитальных вложений в сфере производства базовых моделей, включая производственные затраты в среднем за плановый период.

К важнейшим экономическим показателям эксплуатации относятся: удельные капитальные вложения в сфере эксплуатации; затраты на эксплуатацию с учетом расхода энергоносителей, затрат на систему содержания, оплату обслуживающего персонала; себестоимость единицы работы, выполняемой изделием.

В силу того, что при определении численного значения экономических показателей практически невозможно учесть все его составляющие, то возникающую неопределенность предлагается моделировать, используя понятие случайной величины или случайного процесса.

Основная идея работы заключается в том, что значения параметрических рядов рассматриваются как управляемый объект, а процесс их оптимизации является стохастическим управляемым процессом.

Предложение об ограниченности случайных величин позволяет авторам получать более точные оценки при построении математических моделей основанных на неравенстве Хефдинга [44]

$$P = \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i - M[\xi] \right| > k \quad \begin{matrix} \leftrightarrow \\ \uparrow \end{matrix} < 2e^{-\frac{2k^2 n}{b^2}},$$

где b – верхняя граница для случайной величины ξ (т.е. $0 < \xi < b$);

$x_i, i = \overline{1, n}$ – значение (реализации) случайной величины ξ ;

$M[\xi]$ – математическое ожидание ξ ;

k – произвольное положительное число.

Под более точными оценками, выше, понимается точность при сравнении с оценками, основанными на неравенстве П. Л. Чебышева [45].

Следующим важным моментом при построении модели в виде

$$y = \sum_{j=1}^n c_j \varphi_j(x),$$

где $\varphi_j(x)$ – заданные функции, является то, что для определения коэффициентов $c_j, j = \overline{1, k}$ и самого k используется минимизация эмпирического риска с наперед заданной надежностью выводов. Причем данный подход позволяет работать на ограниченных выборках.

Остановимся на обобщенной экономической характеристике отдельного изделия, которая предложена в работах [46, 47] и используется в [43].

Чтобы не загромождать изложение, рассмотрим ситуацию, когда изделие характеризуется одним параметром q .

Функцию удельных затрат в общем виде представляют как

$$S(q) = f_1(q) + f_2(q) B^{-z}(q),$$

где $f_1(q)$ – составляющая удельных затрат, не зависящая от объема производства;

$B(q)$ – объем производства;

z – положительное число;

$f_2(q)$ – некоторая функция, входящая в составляющую затрат, зависящую от объема производства.

Относительно функций $f_1(q)$ и $f_2(q)$ предполагается, что они неотрицательные, дифференцируемы и из класса Липшица. Эти предположения позволяют доказать существование минимума функции удельных затрат $S(q)$ и предложить алгоритм поиска значения q^* , при котором достигается минимум.

Далее уточняется функция цели с учетом затрат на адаптацию предлагаемого изделия и рассматривается функция

$$F(q) = S(q) + R(q),$$

где $R(q)$ – затраты, обусловленные адаптацией к изделию.

В основу алгоритма минимизации положена идея стохастического программирования, которая получила развитие в работах Ю. М. Ермольева [48].

Несмотря на замкнутость постановки, ранее рассмотренной задачи определения оптимальных параметрических рядов машин, предложенные методики решения этой задачи не могут быть использованы непосредственно применительно к ситуации, которая складывается в экономике Украины, поскольку в рассмотренных задачах:

- интересы производителей и потребителей отражены в одном экономическом показателе – удельных затратах на изготовление изделия;
- расчет затрат выполняется на основе метода ставок, численное значение которых может быть определено только в стабильной экономической обстановке;
- приведение затрат эксплуатационных и капитальных производится с помощью нормативных коэффициентов эффективности капитальных затрат, определение которых в данной экономической ситуации представляет самостоятельную и весьма объемную задачу;
- в математическом плане задача оптимизации выполняется по одному критерию, что не отражает достаточно адекватно отношение между производителями и потребителями и, в частности, отношение клиентов и предприятий, оказывающих транспортные услуги.

1.4 Задачи исследования

Подводя итог приведенному выше обзору выполненных работ, отметим, что какие бы ни были экономические отношения в обществе, одной из важнейших задач транспорта была и остается задача сокращения затрат на перевозки [49-55].

Все более отчетливо вырисовывается экономический риск на рынке грузовых перевозок [56-58], связанный с уплатой штрафа за просрочку доставки и потерь груза или его качества, из-за задержки при доставке. Авторы работы [56] прогнозируют до 20-30 % потерь от просрочки доставки.

Разработке основных вопросов транспортной политики при рыночных преобразованиях уделяется в настоящее время значительное внимание [59-64].

Хотя в этих работах идет речь о транспортной политике России, поднятые вопросы в полной мере относятся и к транспортной политике Украины.

Приведенный выше анализ работ показывает, что результаты исследований указанных выше ученых не в полной мере применимы для решения задач оптимизации градации мощности перспективных локомотивов в связи с изменениями условий работы железнодорожного транспорта, произошедшими в последнее десятилетие.

Общей характерной особенностью выполненных ранее исследований является то, что их результаты получены в период планового развития экономики бывшего СССР, когда основным направлением развития железнодорожного транспорта была интенсификация его работы за счет поиска и реализации научно обоснованных эффективных путей освоения перевозок на линиях с высоким уровнем использования пропускной способности.

По указанной причине в выполненных ранее исследованиях не нашли отражения особенности работы железнодорожного транспорта в условиях рыночных отношений, когда для рынка транспортных услуг характерна жесткая конкуренция между видами транспорта, борьба за клиента, стремление увеличить объемы перевозок и получить большую прибыль в условиях существенного снижения размеров перевозочной работы.

Для обоснования рационального сочетания основных параметров тяговых средств применительно к современным условиям работы

транспорта и на перспективу необходимо исследовать взаимосвязь и взаимовлияние основных технических параметров локомотивов, таких как номинальная мощность и расчетная скорость, с основными показателями эксплуатационной работы (техническая или участковая скорость, масса поезда), а также затратами энергии на осуществление перевозок и капитальными затратами на осуществление обновления локомотивного парка.

Указанное исследование должно быть проведено с целью определения решений, обеспечивающих конкурентоспособность железнодорожных перевозок при максимальной их прибыльности.

Следует также отметить, что при определении основных параметров тяговых средств должно быть учтено то обстоятельство, что в условиях рыночных отношений масса поездов может определяться не только из условий полного использования мощности локомотива и длины приема-отправочных путей отдельных пунктов, но и ограниченной продолжительностью процесса формирования поездов.

В приведенной выше постановке задача определения оптимальных параметров тяговых средств до настоящего времени не рассматривалась.

С позиций теории выбора и принятия решений [70] перечисленные задачи относятся к задачам векторной оптимизации, когда в качестве отношения предпочтения принимается отношение Парето [71].

Учитывая этот факт, в книге рассмотрена задача векторной оптимизации применительно к исследуемым инженерным задачам и предложен алгоритм численной реализации на персональных ЭВМ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Макаренко М. Проблемы функционирования и содержания железных дорог Украины / М. Макаренко, В. Гурнак // ЭУ. – 1995. – №11. – С. 17-23.
2. Черномордик Г.И. Основы проектирования железных дорог с электрической и тепловозной тягой / Г. И. Черномордик, Ю. Е. Рывкин. – М.: Транспорт, 1970. – 328 с.
3. Пейсахзон Б. Э. Вес и скорость грузовых поездов // Тр. ЦНИИ МПС. – М.: Трансжелдориздат, 1957. – Вып. 141. – 202 с.
4. Тихонов К. К. Оптимальные ходовые скорости грузовых поездов // Тр. МИИТа. – М.: Транспорт, 1964. – Вып. 172. – 262 с.
5. Тихонов К. К. Выбор оптимальных параметров эксплуатации железных дорог. – М.: Транспорт, 1974. – 192 с.
6. Тихонов К. К. Теоретические основы выбора оптимальных весовых норм грузовых поездов // Тр. МИИТа. – М.: Транспорт, 1970. – Вып. 331. – 200 с.
7. Тихонов К. К. Техничко-экономические расчеты в эксплуатации железных дорог. – М.: Трансжелдориздат, 1962. – 262 с.
8. Тихонов К. К. Выбор весовых норм грузовых поездов. – М.: Транспорт, 1967. – 260 с.
9. Максимович Б. М. Вес и скорость движения грузовых поездов // Вопросы организации движения поездов. – М.: Трансжелдориздат, 1961. – С. 75-98.
10. Кочнев Ф. П. Комплексное повышение скоростей движения по-

ездов. – М.: Транспорт, 1989. – 176 с.

11. Рабинович Л. Н. Методика расчета потребности в автомобильном подвижном составе // Промышленный транспорт. – 1976. – №5. – С. 16-17.
12. Молчанов А. И. Факторный метод расчета потребности предприятия в грузовых автомашинах // Промышленный транспорт. – 1977. – №2. – С.13-15.
13. Великанов Д. П. Метод выбора оптимального транспортного средства для перевозок грузов и определение количественной потребности в них / Д. П. Великанов, Б. Д. Сорокин, Л. И. Емельянов // Вопросы развития автомобильных транспортных средств. – М.: Транспорт, 1978. – 207 с.
14. Чеботаев А. А. Выбор рациональных типов грузовых автомобилей. – М.: Транспорт, 1978. – 72 с.
15. Бабушкин Г. Ф. Планирование оптимального развития автомобильного парка / Г. Ф. Бабушкин, А. Н. Шокин // Промышленный транспорт. – 1978. – №1. – С. 13-14.
16. Тихомиров Е. Ф. Хозрасчетный оптимум и план (Согласование на примере автомобильного транспорта) – М.: Наука, 1976. – 123 с.
17. Момот Н. С. Оптимизация структуры автомобильного парка машиностроительных предприятий // Н. С. Молот, Л. В. Попкова, В. П. Приварникова // Промышленный транспорт. – 1980. – №1. – С. 25–27.
18. Абдулаев Ф. М. Выбор оптимальной структуры автомобильного

- парка для внутризаводских перевозок / Ф. М. Абдулаев, М. Г. Курбанов // Промышленный транспорт. – 1981. – №1. – С. 15-17.
19. Савич В. И. Определение оптимальной программы строительства флота // Речной транспорт. – 1961. – №6. – С. 20-21.
20. Дмитриева Н. Е. Применение линейного программирования при планировании пополнения флота // Сборник по обмену опытом применения вычислительной техники на водном транспорте. – М.: Транспорт. – 1964. – 172 с.
21. Дорин В. С. Применение экономико-математических методов и ЭВМ при проектировании судов / В. С. Дорин, В. М. Панин, В. Е. Солдатов // Судостроение. – 1967. – №11. – С.27-28
22. Добыш С. А. Оптимизация структуры морского транспортного флота в условиях неполной информации / С. А. Добыш, Л. Н. Мучник, В. М. Панин // Экономика и математические методы. – 1979. – Вып. 1. – С. 35-39.
23. Пинаев В. Г. Моделирование в планировании гражданской авиации / В. Г. Пинаев, Р. В. Сакач, Е. Ф. Косиченко, Г. Н. Гладышевская. – М.: Транспорт, 1983. – 138 с.
24. Сломьянский А. В. Выбор типов магистральных локомотивов // Тр. ВНИИЖТа. – М.: Трансжелдориздат, 1960. – Вып. 184. – 164 с.
25. Ашкенази Е. А. Сферы применения различных видов тяги на промышленном железнодорожном транспорте / Е. А. Ашкенази, В. И. Баканов // Тр. ВНИИЖТа. – М.: Трансжелдориздат, 1963. – Вып. 253. – 135 с.
26. Указание по расчету парка вагонов и локомотивов металлургии

ческих заводов МЧМ СССР. – М., ГИПРОМЕЗ, 1963. – 73 с.

27. Методика определения потребного промышленного транспорта в подвижном составе. – М.: Промтрансниипроект, 1966. – Вып. 3101. – 67 с.
28. Методика технико-экономического обоснования потребности в транспортных средствах в промышленности строительных материалов. – М.: Промтрансниипроект, 1974. – 38 с.
29. Определение потребности подвижного состава на промышленном железнодорожном транспорте (I этап). – М.: ИКТП, 1979. – 123 с.
30. Стефаненко М. Н. Определение потребности в подвижном составе // М. Н. Стефаненко, Т. В. Панфилова // Промышленный транспорт. – 1981. – №8. – С. 10-12.
31. Панфилова Т. В. Совершенствование методики планирования поставок локомотивов промышленного железнодорожного транспорта // Вопросы комплексного развития промышленного транспорта: Тр. ИКТП при Госплане СССР. – М., 1984. – Вып. 105. – С. 89-103.
32. Мухин Ю. П. Об Оптимизации структуры локомотивного парка на промышленных предприятиях / Ю. П. Мухин, Б. И. Соколов // Промышленный транспорт. – 1977. – №7. – С. 14-15.
33. Соколов Б. И. Методика расчета оптимальной структуры локомотивного парка промышленных предприятий // Повышение экономической эффективности и качества работы промышленного транспорта. – М.: МДНТП, 1978. – 115 с.
34. Енскин Л. В. Методика определения рациональной структуры

- парка промышленного железнодорожного транспорта: Дис.
канд. тех. наук. – М.: ИКТП при Госплане СССР, 1984. – 157 с.
35. Ковалев Д. И. Методика определения оптимальной структуры локомотивного парка на металлургических предприятиях / Д. И. Ковалев, А. Н. Мальцев, А. В. Устенко // Харьков: ХИИТ, 1988. – С. 87-92.
36. Проблемы прогнозирования и оптимизации работы транспорта / Под ред. акад. Л. В. Канторовича и д.э.н. В. Н. Лившица. – М.: Наука, 1982. – 326 с.
37. Тихонов К. К. Теоретические основы выбора оптимальных параметров перспективных локомотивов для грузового движения // Вопросы эксплуатации железных дорог: Тр. МИИТа. – М.: Транспорт, 1969. – Вып. 307. – С. 3-23.
38. Кочнев Ф. П. Управление эксплуатационной работой железных дорог / Ф. П. Кочнев, И. Б. Сотников И.Б. – М.: Транспорт, 1990. – 424 с.
39. Brandalik F. Operacni analiza v zeleznicni doprave / F. Brandalik, P. Kluvanek. – Bratislava: Alfa, 1984. – 97 с.
40. Клуванек П. Метод расчета оптимальных мощностей тягового подвижного состава в определенном мощностном спектре / П. Клуванек, Ф. П. Херзань, Л. К. Пойлов // Повышение эффективности работы тепловозов. – Л.: ЛИИЖТ, 1986. – С. 3-8.
41. Техничко-економическое обоснование параметров новых прогрессивных типов машин и оборудования для промышленного транспорта. – М.: Промтрансниипроект, 1960. – Т. 1, вып. 2681. – С. 70-213.

42. Володин А. П. Рациональные типы дизелей для тепловозов // Железнодорожный транспорт. – 1960. – №7. – С. 20-26.
43. Антипенко В. С. Модели и методы оптимизации параметрических рядов машины / В. С. Антипенко, Г. Б. Кац, В. А. Петрушков. – М.: Машиностроение, 1990. – 176 с.
44. Алгоритмы и программы восстановления зависимостей / Под ред. В. Н. Ванника. – М.: Наука, 1984. – 816 с.
45. Уилкс С. Математическая статистика. – М.: Наука, 1967. – 632 с.
46. Ипатов М. И. Техничко-экономический анализ проектируемых автомобилей. – М.: Машиностроение, 1982. – 272 с.
47. Кац Г. Б. Техничко-экономический анализ и оптимизация конструкций машин / Г. Б. Кац, А. П. Ковалев. – М.: Машиностроение, 1981. – 213 с.
48. Ермольев Ю. М. Методы стохастического программирования. – М.: Наука, 1976. – 240 с.
49. Martinsen W. O. Mobilitatssysteme für die Zukunft // Mitt. Techn. Univ. Carolo-Wilhelmina. Braunschweig. – 1997. – 32, №2. – С. 31-32.
50. Europäische Bahnen vereinfachen grenzüberschreitenden Güterverkehr // Deine Bahn. – 1998. – 26, №7. – С. 405-406.
51. Козин Б. С. Этапное развитие транспортных устройств. – М.: Транспорт, 1973. – 164 с.
52. Смехова Н. Г. Эксплуатационные расходы и объем работы / Н. Г. Смехова, Л. Б. Панкратова // Железнодорожный транспорт. – 1966. – №3. – С. 61-63.
53. Mehr Markt und Kundennähe bei DB Cargo // Deine Bahn. – 1998. –

26, №7. – С. 388-389.

54. Pluy I. Elektrische Bahnen im Elektrizitätsbinnenmarkt // Elek. Bahnen. – 1998. – 96, №9. – С. 290-293.
55. Backhaus K. Mit Hochgeschwindigkeit in die Beschleunigungsfalle // Deine Bahn. – 1997. – 25, №2. – С. 67-69.
56. Мачерет Д. А. Экономический риск на рынке грузовых перевозок / Д. А. Мачерет, И. А. Чернигина // Железнодорожный транспорт. – 1996. – №3. – С. 61-63.
57. Dullick K.-P. DB Cargo durch LPU // Deine Bahn. – 1996. – 24, №12. – С. 722-723.
58. Spieb P. Pünktlichkeit // Deine Bahn. – 1998. – 26, №5. – С. 259-260.
59. Першанов В. А. Ключевые вопросы транспортной политики // Железнодорожный транспорт. – 1995. – №10. – С. 20-26.
60. Першанов В. А. Ключевые вопросы транспортной политики // Железнодорожный транспорт. – 1995. – №11. – С. 12-17.
61. Sinnecker E. DB Cargo auf dem Weg in einem Verkehrsmarkt des Wandels // Eisenbahningenieur. – 1997. – 48, – №10. – С. 8-10.
62. Кантор И. И. Энергоэффективные решения при проектировании трассы железных дорог / И. И. Кантор, Е. В. Шаврина // Вестник ВНИИ ж.-д. трансп. – 1998. – №1. – С. 45-48.
63. Rothenpieler U / Frachtberechnung im gewerblichen Güternahverkehr // Deine Bahn. – 1997. – 25, №5. – С. 277-281.
64. Иванов Н. Г. Экономическая эффективность оптимизации структуры парка поездных локомотивов и размещение их на железных дорогах РФ в условиях рыночных отношений // Тр. ВНИИ

- тепловозов и путевых машин. – 1997. – №76. – С. 238-240.
65. Орлов А. В. Транспорт в системе рыночных отношений и конкурентного рынка // Железнодорожный транспорт. – 1995. – №12. – С. 38-41.
66. Мандриков М. Е. Ключевые проблемы экономической науки // Железнодорожный транспорт. – 1997. – №6. – С. 63-71.
67. Вавилов В. Н. Построение типоразмерных рядов подвижного состава // Железнодорожный транспорт. – 1996. – №3. – С.50-57.
68. Шатилов С. В. Залог успеха в конкурентной борьбе // Железнодорожный транспорт. – 1998. – №7. – С. 50-53.
69. Курбатова А. В. Транспортный рынок: особенности, возможности, условия конкурентоспособности // Железнодорожный транспорт. – 1997. – №3. – С.60-63.
70. Макаров М. Н. Теория выбора и принятия решений / М. Н. Макаров, Т. М. Виноградская, А. А. Рубчинский, В. Б. Соколов. – М.: Наука, 1982. – 328 с.
71. Босов А. А. О Парето оптимальных решениях задач векторной оптимизации / А. А. Босов, В. В. Скалозуб // Диференціальні рівняння та їх застосування. – Зб. наук. пр.: Дніпропетровськ: ДДУ, 1998. – С. 66-70.
72. Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
73. Режимы работы магистральных электровозов / О. А. Некрасов, А. Л. Лисицин, Л. А. Мугинштейн, В. И. Рахманинов / Под ред. Некрасова О. А. – М.: Транспорт, 1983. – 231 с.

74. Тулупов В. Д. Автоматическое регулирование сил тяги и торможения электроподвижного состава. – М.: Транспорт, 1976. – 368 с.
75. Костромин А. М. Оптимизация управления локомотивом. – М.: Транспорт, 1979. – 119 с.
76. Босов А. А. Методы решения некоторых задач оптимальных тяговых расчетов на ЭЦВМ: Дис. канд. техн. наук. – Днепропетровск, 1968. – 145 с.
77. Розенфельд В. Е. Теория электрической тяги / В. Е. Розенфельд, И. П. Исаев, Н. Н. Сидоров. – М.: Транспорт, 1983. – 328 с.
78. Курбасов А. С. Повышение работоспособности тяговых электродвигателей. – М.: Транспорт, 1997. – 222 с.
79. Скобелев В. Е. Двигатели пульсирующего тока. – Л.: Энергия, 1968. – 231 с.
80. Астахов П. Н. Справочник по тяговым расчетам / П. Н. Астахов, П. Т. Гребенюк, А. И. Скворцова. – М.: Транспорт, 1973. – 256 с.
81. Иноземцев В. Г. Автоматические тормоза / В. Г. Иноземцев, В. М. Казаринов, В. Ф. Ясенцев. – М.: Транспорт, 1981. – 464 с.
82. Проектирование тяговых электрических машин / М. Д. Находкин, Т. В. Василенко, В. И. Бочаров, М. А. Козорезов / Под ред. Находкина М. Д. – М.: Транспорт, 1976. – 624 с.
83. Алексеев А. Е. Тяговые электрические машины и преобразователи. – Л.: Энергия, 1977. – 444 с.
84. Курбасов А. С. Проектирование тяговых электродвигателей / А. С. Курбасов, В. И. Седов, П. Н. Сорин. – М.: Транспорт, 1987. – 536 с.

85. Находкин М. Д. Универсальная магнитная характеристика тяговых двигателей постоянного тока / М. Д. Находкин, В. С. Хвостов // Вестник электропромышленности. – 1987, №1. – С. 44 - 48.
86. Магистральные электровозы. Тяговые электрические машины / В. И. Бочаров, Г. В. Василенко, А. Л. Курочка / Под ред. Бочарова В. И., Янова В. П. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 464 с.
87. Ротанов Н. А. Электромагнитные процессы и тягово-энергетические характеристики системы асинхронного тягового привода электроподвижного состава переменного тока: Дис. ... д-ра техн. наук. – М.: МИИТ, 1977. – 347 с.
88. Бурков А. Т. Управление электроэнергетическими процессами локомотивов с асинхронным приводом: Дис. ... д-ра техн. наук. – Л., 1982. – 508 с.
89. Гетьман Г. К. О выборе пусковых частот плоских линейных асинхронных двигателей // Вопросы усовершенствования устройств электрической тяги. – Тр. ДИИТа. – 1975. – Вып. 163. – С. 33- 35.
90. Гетьман Г. К. Оптимальное соотношение в регулируемом частотой линейном асинхронном двигателе // Вопросы усовершенствования устройств электрической тяги. – Тр. ДИИТа. – 1975. – Вып. 163. – С. 35-39.
91. Шубенко В. А. Оптимизация частотноуправляемого электропривода по минимуму тока / В. А. Шубенко, Р. Т. Шрейдер, В. А. Мищенко // Электричество. – 1970. – №9. – С. 23-26.
92. Гетьман Г. К. Расчет характеристик частотноуправляемых ли-

- нейных асинхронных двигателей / Г. К. Гетьман, Г. Я. Корепанов // Вопросы усовершенствования устройств электрической тяги. – Тр. ДИИТа. – 1972. – Вып. 135. – С. 136-145.
93. Рудаков Б. В. Расчет характеристик асинхронного тягового двигателя при частотном регулировании / Б. В. Рудаков, Я. Ю. Пармас // Сб. тр. ЛИИЖТа. – 1967. – Вып. 271. – С. 52-55.
94. Исаев И. П. Случайные факторы и коэффициент сцепления. – М.: Транспорт, 1970. – 184 с.
95. Вербек Г. Современное представление о сцеплении и его использовании // Железные дороги мира. – 1974. – №4. – С. 23-25.
96. Лисицин А.Л. Тяговое обеспечение поездов повышенной массы и длины в условиях интенсификации работы электрифицированных линий железных дорог: Дис. ... д-ра техн. наук. – Л., 1989. – 342 с.
97. Погосов В. Ю. Прогнозирование расхода электроэнергии на тягу поездов с учетом разброса параметров грузовых поездов и условий эксплуатации: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1990. – 23 с.
98. Испытание локомотивов и выбор рациональных режимов вождения поездов / Е. В. Горчаков, И. П. Исаев, Н. В. Максимов / Под ред. Осипова С. И. – М.: Транспорт, 1975. – 272 с.
99. Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Драйпер, Т. Смит. – М.: Статистика, 1973. – 392 с.
100. Гетьман Г. К. Расчет характеристик тяговых электродвигателей / Г. К. Гетьман, Г. Е. Гейзер. – Дн-ский ин-т ин-ров ж. д. транспорта. – Днепропетровск, 1981. – 7 с. – Деп. в ЦНИИ ТЭИ МПС 1981, №1469.

101. Гетьман Г. К. Математические модели электроподвижного состава в задачах тягового обеспечения // Физико-технические и технологические приложения математического моделирования: Сб. науч. тр. НАН Украины, Ин-т математики. – Киев, 1998. – С. 48-51.
102. Гетьман Г. К. Универсальные тягово-энергетические характеристики электроподвижного состава // Придніпровський науковий вісник (технічні науки). – 1998. – №105(172). – С. 46-55.
103. Гетьман Г. К. Моделирование ограничений области допустимых управлений уравнения движения поезда в задачах тягового обеспечения // Вісн. Харк. держ. політех. ун-ту: Зб. наук. пр. – Харків: ХГПУ, 1999. – Вип. 85. – С. 44-51.
104. Гетьман Г. К. Математическая модель поезда для производства тяговых расчетов в задачах выбора параметров тяговых средств // Транспорт: Зб. наук. пр. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 1999. – Вип. 1. – С. 75-79.
105. Гетьман Г. К. Определение оптимальной по минимуму расхода энергии на движение поезда мощности локомотива // Напівпровідникові та мікропроцесорні пристрої в електроенергетичних системах транспорту: Зб. наук. пр. – Харків: ХарДАЗ-Ту, 2000. – Вип. 39. – С. 41-48.
106. Моисеев Н. И. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 487 с.
107. Беляев А. В. Алгоритм оптимального по расходу электроэнергии управления движением поезда / А. В. Беляев, А. Г. Вольвич,

- Н. Ю. Федорова: Сб. научн. тр. Всерос. НИ. и проект.-
конструкт. ин-т. электровозостр. – 1998. – 39. – С. 160-169.
108. Сидельников В. М. Автоматизация выбора оптимального режима ведения поезда при электрической тяге на ЭЦВМ: Дис. ... канд. техн. наук. – М., 1966. – 132 с.
109. Цукало П. В. Экономия электроэнергии на электроподвижном составе. – М.: Транспорт, 1983. – 174 с.
110. Петров Ю. П. Оптимальное управление движением транспортных средств. – Л.: Энергия, 1969. – 96 с.
111. Евдомаха Г. В. Автоматизация тяговых расчетов, учитывающих динамическую нагруженность поезда: Дис. ... канд. техн. наук. – Днепропетровск, 1987. – 164 с.
112. Ерофеев Е. Б. Исследование оптимальных программ автоматического ведения поезда при вариациях исходных параметров. – Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1969. – 24 с.
113. Штонер Р. Многокритериальная задача оптимизации. Теория, вычисления и приложения. – М.: Радио и связь, 1992. – 504 с.
114. Алексеев В. М. Сборник задач по оптимизации. Теория, примеры, задачи / В. М. Алексеев, Э. М. Галеев, В. М. Тихомиров. – М.: Наука, 1984. – 288 с.
115. Волгин Л. Н. Принцип согласованного оптимума. – М.: Советское радио, 1977. – 144 с.
116. Гельфанд И. М. Вариационное счисление / И. М. Гельфанд, С. В. Фомин. – М.: ФМ, 1961. – 228 с.
117. Немицкий В. В. Качественная теория дифференциальных

- уравнений / В. В. Немицкий, В. В. Степанов. – М.: Л.: Гостехиздат, 1949.
118. Баутин Н. М. Методы и приемы качественного исследования динамических систем на плоскости / Н. М. Баутин, Е. А. Леонтович. – М.: Наука, 1990. – 488 с.
119. Брайсон А. Прикладная теория оптимального управления / А. Брайсон, Хо-Юши. – М.: Мир, 1972. – 544 с.
120. Лузин Н. Н. О качественном исследовании уравнения движения поезда // Математический сборник, 1932. – Т. 39, №3. – С. 67-71.
121. Беллман Р. Динамическое программирование. - М.: Иноиздат, 1960. - 400 с.
122. Колмогоров А. Н. Элементы теории функций и функционального анализа / А. Н. Колмогоров, С. В. Фомин. - М.: Наука, 1989. - 624 с.
123. Босов А. А. Векторная оптимизация в задачах тяговых расчетов / А. А. Босов, Г. К. Гетьман // Вісн. Харк. держ. політех. ун-ту: Зб. наук. пр. – Харків: ХДПУ, 1999. – Вип. 73. – С. 23-27.
124. Гетьман Г.К. Применение методов векторной оптимизации для решения задач тяговых расчетов // Вісн. Харк. держ. політех. ун-ту: Зб. наук. пр. – Харків: ХДПУ, 1999. – Вип. 62. – С. 12-19.
125. Босов А. А. Параметризация в задачах векторной оптимизации / А. А. Босов, Г. К. Гетман // Транспорт: Зб. наук. пр. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2000. – Вип. 5. – С. 62-65.
126. Бюллетень ОСЖД статистических данных по железнодорожному транспорту за 1996 год. – Варшава, 1997. – 151 с.

127. Гетьман Г. К. Моделирование взаимосвязи массы, длины и времени формирования грузовых поездов при заданных параметрах тяговых средств // Iужел The 5th International Scientific conference of railway experts. – Vranska Banja (Yugoslavia), 1998. – С. 295-298.
128. Гетьман Г. К. Оценка взаимосвязи массы, длины поезда и времени его формирования // Залізничний транспорт України. – 1999. – №2. – С. 10-12.
129. Гетьман Г. К. Моделирование взаимосвязи средней массы и нормы массы поездов при ограничении времени формирования // Математичне моделювання в інженерних та економічних задачах транспорту: Зб. наук. пр. – Дніпропетровськ: Січ, 1999. – С. 168-176.
130. Гетьман Г. К. Определение оптимальной градации мощности локомотивов для осуществления грузовых перевозок на заданной железнодорожной линии // Вісн. Харк. держ. політех. ун-ту: Зб. наук. пр. – Харків: ХДПУ, 1999. – Вип. 49. – С. 30-35.
131. Гетьман Г. К. Метод расчета оптимальных мощностей тягового подвижного состава при дискретном распределении массы поездов // Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті. – 1999. – №2. – С. 44-47.
132. Демидович Б. П. Основы вычислительной математики / Б. П. Демидович, И. А. Марон. – М.: Наука, 1970. – 664 с.
133. Мелкумов Я. С. Теоретическое и практическое пособие по финансовым вычислениям. – М.: ИНФРА, 1996. – 335 с.

134. Иофе А. Д. Теория экстремальных задач / А. Д. Иофе, В. М. Тихомиров. – М.: Наука, 1974. – 479 с.
135. Вентцель Е. С. Теория случайных процессов и ее инженерное приложение / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М.: Наука, 1991. – 383 с.
136. Арнольд В. И. Обыкновенные дифференциальные уравнения. – М.: Наука, 1971. – 240 с.
137. Васильев Ф. П. Численные методы решения экстремальных задач. – М.: Наука, 1980. – 518 с.
138. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. – М.: Мир, 1975. – С. 534.
139. Гетьман Г. К. Моделирование рационального парка технических объектов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 1999. – №1. – С. 3-6.
140. Гетьман Г. К. Задачи рациональной стратегии обновления локомотивного парка Украины // Транспорт. Підвищення ефективності роботи приладів електричного транспорту: Міжвузів. зб. наук. пр. / Ред. кол.: Є. П. Блохін, гол. ред. – Дніпропетровськ: Січ, 1999. – С. 22-26.
141. Гетьман Г. К. Определение рационального распределения заказов на поставку локомотивов // Залізничний транспорт України. – 2000. – №1. – С.2-4.
142. Гетьман Г.К. Учет временного фактора в задачах распределения заказов на поставку локомотивов // Коммунальне господарство міст. Наук.-тех. зб. – К.: Техніка, – 1999. – Вип. 19. – С. 171-178.

143. Гетьман Г. К. Применение принципа максимума Л. С. Понтрягина для решения задачи рационального распределения заказов на поставку локомотивов // Вісн. Харк. держ. політех. ун-ту: Зб. наук. пр. – Харків: ХГПУ, 2000. – Вип. 95. – С. 54 – 64.
144. Гетьман Г. К. Моделирование состояния локомотивного парка: Зб. наук. пр. Київс. ін-т залізн. трансп. – К.: КІЗТ, 1999. – Т. 3. – С. 106-114.
145. Гетьман Г. К. Оптимальное управление при формировании рационального парка локомотивов // Вісн. Східноукраїн. держ. ун-ту. – 2000. – Вип. 5(27)– С. 53-57.
146. Тищенко А. И. Справочник по электроподвижному составу, тепловозам и дизель-поездам / А. И. Тищенко, И. П. Исаев., Н. И. Панов Н.И. – М.: Транспорт, 1976. – 432 с.
147. Тихонов К. К. Оптимальные ходовые скорости грузовых поездов. – М.: Транспорт, 1964. – 262 с.
148. Луговой П. А., Основы технико-экономических расчетов на железнодорожном транспорте / П. А. Луговой, Л. Г. Цыпин, Р. А. Аукционек. – М.: Транспорт, 1973. – 232 с.
149. Захарченко Д. Д. Тяговые электрические машины и трансформаторы / Д. Д. Захарченко, Н. А. Ротанов, Е. В. Горчанов. – М.: Транспорт, 1979. – 303 с.
150. Фуфрянский Н. Л. Развитие локомотивной тяги / Н. Л. Фуфрянский, А. Н. Долганов, А. С. Нестахов. – М.: Транспорт, 1988. – 344 с.
151. Третьяков А. П. Подвижной состав и тяга поездов / А. П. Третьяков, В. В. Деев, А. А. Перова. – М.: Транспорт, 1979. – 368 с.

152. Гетьман Г. К. О рациональном управлении локомотивом / Г. К. Гетьман, С. У. Гафаров, Г. Е. Глейзер // Промышленный транспорт. – 1983. – №10. – С. 7-8.
153. Гетьман Г. К. Анализ существующих методов нормирования расхода электроэнергии на тягу карьерных поездов. – Деп. в ЦНТБ ЧМ СССР, №3Д/2455 // Анот. в библи. ук-ле ВИНТИ «Депонированные научные работы». – 1984. – №9. – С. 111.
154. Гетьман Г. К. Нормирование расхода электроэнергии тяговыми агрегатами / Г. К. Гетьман, П. А. Картушин, Г. П. Круш // Промышленная энергетика. – 1984. – №8. – С. 42-44.
155. Выбор рациональных режимов вождения поездов на ССГОКе: Отчет о НИР/ Днепропетр. ин-т. инж. транспорта. – №11129; №ГР 80006142; инв. №0284.00167742. – М., 1983. – 127 с.
156. Выбор рациональных режимов вождения поездов на АГМК: Отчет о НИР / Днепропетр. ин-т. инж. транспорта. – №11142; №ГР 01830007583; инв. №0286.0080832. – М., 1984. - 60 с.
157. Внедрение результатов исследований ДИИТа по экономии электроэнергии на ССГОКе: Отчет о НИР / Днепропетр. ин-т. инж. транспорта. – №11147; №ГР 01840027356; инв. №0286.0074229. – М., 1985. – 41 с.
158. Выбор типа локомотива для ПО «Апатит»: Отчет о НИР / Днепропетр. ин-т. инж. транспорта. – №11145; №ГР 01830007853; инв. №00286.0075345. – М., 1984. – 66 с.
159. Гетьман Г. К. Моделирование затрат электроэнергии и времени парка электровозов на осуществление грузовых перевозок

- железных дорог / Г. К. Гетьман, Д. Ю. Курасов, А. И. Мосендз // Придніпров. наук. вісн.: Технічні науки. – 1998. – №105(172). – С. 8-14.
160. Гетьман Г. К. Оценка эффективности модульной тяги / Г. К. Гетьман, А. И. Мосендз // Транспорт: 36. наук. пр. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2000. – Вип. 5. – С. 24-25.
161. Визначення раціонального ряду потужностей електровозів для забезпечення вантажних та пасажирських перевезень залізниць України: Звіт про НДР / Східн. наук. центр транспорт. акад. України. – 60 СНЦ; №ГР 0100V003185. – Дніпропетровськ, 2000. – 318 с.
162. Анализ существующего электровозного парка и разработка технических требований на вновь проектируемые электровозы Украины: Отчет о НИР / Днепропетр. гос. технич. ун-т ж. д. транспорта. – 22.22.93.93: №ГР 0194У002462; Инв. №0394V001408.
163. Гетьман Г. К. Определение оптимальных параметров локомотивов для грузового движения // Тезисы междунар. теор. конф. «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта». – Ростов-н/Д.: РИИЖТ, 1999. – С. 58.
164. Гетьман Г. К. Методика определения номинальной мощности грузовых электровозов // Тезисы IX междунар. науч.-техн. конф. «Проблемы развития рельсового транспорта». – Луганск: ВУГУ. – 1999. – С. 40-41.
165. Гетьман Г. К. Основы метода определения рационального

- мощностного ряда локомотивов // Тезисы VII междунар. науч.-техн. конф. «Проблемы развития рельсового транспорта». – Луганск: ВУГУ. – 1997. – С. 26-27.
166. Гетьман Г. К. Выбор оптимальных параметров перспективных электровозов для грузового движения // Залізничний транспорт України. – 2000. – №3. – С. 47-51.
167. Гетьман Г. К. Выбор градации мощности грузовых локомотивов // Вісн. Харків. держ. політехніч. ун-ту: Зб. наук. пр. – Харків: ХГПУ, 2000. – Вип. 89. – С. 50-56.
168. Гетьман Г. К. Определение оптимальной мощности тягового модуля для грузовых перевозок. // Вісн. Харків. держ. політехніч. ун-ту: Зб. наук. пр. – Харків: ХГПУ, 2000. – Вип. 111. – С. 21-36.
169. Арпуль С. В. Моделирование области допустимых управлений уравнения движения пассажирского поезда. // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. транспорту ім. акад. В.Лазаряна: Зб. наук. пр. – Дніпропетровськ: ДПТ, 2004. – Вип. 4. – С. 17-22.
170. Высокоскоростное пассажирское движение (на железных дорогах) / Под ред. Колодяжного Н. В. – М.: Транспорт, 1976. – 416 с.
171. Бещева Н. И. Местное пассажирское движение на электрифицированных линиях. – М.: Транспорт, 1965. – 224 с.
172. Справочник по электроподвижному составу, тепловозам и дизель-поездам / Под ред. А. И. Тищенко. – М.: Транспорт, 1976. – Т. 1. – 432 с.

173. Исследование высокоскоростного электропоезда ЭР200 / Под ред. В. Г. Иноземцева: Сб. науч. тр. – М.: Транспорт, 1985. – 83 с.
174. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 567 с.
175. Кочнев Ф. П. Вес и скорость пассажирских поездов. – М.: Транспорт, 1965. – 276 с.