

На правах рукописи

**Чигамбаев Темырбай Отарбаевич**



**ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕМОНТОВ ТР-3 (ТО-8)  
ЭЛЕКТРОВЗОВ ВЛ80<sup>С</sup> МЕЖДУ БАЗОВЫМИ ДЕПО НА ЖЕЛЕЗНОЙ  
ДОРОГЕ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

05.22.07 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и  
электрификация»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук



Москва – 2009 г.

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный университет путей сообщения» (МИИТ) на кафедре «Электрическая тяга»

Научный руководитель: доктор технических наук,  
профессор Горский А.В. (МИИТ)

Официальные оппоненты: доктор технических наук,  
Устич П.А. (МИИТ)  
кандидат технических наук  
Подшивалов А.Б. (ВНИИЖТ)

Ведущая организация: Уральский государственный  
университет путей сообщения  
(УрГУПС)

Защита диссертации состоится "15" февраля 2009 г. в 15<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д218.005.01 в Московском государственном университете путей сообщения (МИИТ) по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 15, ауд. 2505.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МИИТа.

Автореферат разослан "11" января 2009 года.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный гербовой печатью учреждения, просим направлять по адресу совета университета.

Ученый секретарь диссертационного  
совета Д218.005.01, д.т.н., доцент



Саврухин А.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В настоящее время в Республике Казахстан производственные мощности ремонтных предприятий рассредоточены по отдельным ремонтным депо, что приводит к недостатку оборудования и комплектующих частей, длительным простоям, некачественному ремонту и формированию затратной структуры ремонтного производства. В связи с этим, в республике практически отсутствуют предприятия, производящие качественный технический осмотр (ТО) и капитальный ремонт (КР) локомотивов, а также необходимые запасные части и элементы к ним.

В Казахстане схема чередования ремонтов и межремонтные пробеги локомотивов - структура ремонтного цикла - регламентируется нормативами, созданными на основе приказа Министерства Транспорта и Коммуникаций (МТиК) Республики Казахстан №536-Ц от 19.08.1999 г. и №202-1. При этом основной системой ТОР локомотивов является система планово-предупредительных ремонтов.

Анализ работы железнодорожного транспорта Республики Казахстан показал необходимость научного подхода к решению важного вопроса - определению оптимального распределения локомотивов по ремонтным предприятиям железной дороги.

Так как в отношении оптимального распределения электровозов по ремонтным предприятиям железной дороги исследования не проводились, то решение задачи оптимального распределения электровозов ВЛ80<sup>С</sup> по ремонтным предприятиям, применение результатов в производственной деятельности, представляют как научный, так и практический интерес в рыночных условиях для железной дороги Республики Казахстан. Её решение требует составления определенных математических моделей, отражающих технико-экономическую сущность исследуемых вопросов, корреляционных связей между отдельными элементами и системами в целом, разработки специальных программ и алгоритмов.

**Цель работы.** Решение задачи оптимального распределения электровозов по ремонтным предприятиям для проведения ремонтов в объеме ТР-3 (ТО-8) на железной дороге Республики Казахстан, с целью повышения качества использования подвижного состава за счет снижения суммарных затрат, связанных с ремонтом локомотивов и их транспортировкой в ремонтные предприятия, а также за счет уменьшения потребности в ремонтах путем оптимизации ресурса до смены бандажей колесных пар электровозов ВЛ80<sup>С</sup>, что позволяет увеличить их межремонтные пробеги.

Реализуется следующая последовательность решения задач диссертационной работы:

1. Обзор научных работ по совершенствованию системы технического обслуживания и ремонта подвижного состава.

2. Определение мощностей ремонтных предприятий и потребностей в ремонте электровозов ВЛ80<sup>С</sup> в объеме ТР-3 (ТО-8).

3. Разработка алгоритма распределения электровозов ВЛ80<sup>С</sup> по ремонтным предприятиям.

51

4. Определение оптимального распределения электровозов между ремонтными предприятиями при потребности в ремонтах, заданной существующей нормативной документацией, и фактической потребности.

5. Экспериментальное определение ресурсов до смены бандажей колесных пар электровозов, эксплуатируемых в четырех эксплуатационных депо.

6. Определение оптимального распределения по ремонтным предприятиям электровозов с предлагаемыми межремонтными пробегами.

7. Оценка экономической эффективности от реализации оптимальных межремонтных пробегов.

**Объект диссертационного исследования.** Система технического обслуживания и ремонта электровозов на Казахстанской железной дороге.

**Предмет исследования.** Оптимальное распределение ремонтов ТР-3 (ТО-8) электровозов по ремонтным предприятиям при потребностях в ремонте, установленных приказом №536-Ц, при фактических потребностях и потребностях при оптимальных межремонтных пробегах.

**Методы исследования.** В работе использованы методы теории вероятностей, теории оптимальных решений, теории надежности и метод линейного программирования.

**Научная новизна.** Разработана методика оптимального распределения электровозов ВЛ80<sup>С</sup> по ремонтным предприятиям, методом линейного программирования. Показано, что наиболее эффективным способом ликвидации дефицита производственных мощностей для проведения ремонтов ТР-3 (ТО-8) на Казахстанской железной дороге является оптимизация пробегов до смены бандажей колесных пар.

**Обоснованность и достоверность результатов подтверждается:**

- совпадением результатов расчетов при потребностях в ремонте, установленных приказом №536-Ц, с распределением электровозов, реализуемым на практике;

- использованием обширного статистического материала, накопленного в официальных документах за многие годы эксплуатации ЭПС по большому количеству колесных пар электровозов, что обеспечивает точность результатов анализа и позволяет учесть их конкретные условия эксплуатации.

**Практическая ценность** результатов диссертации заключена в сокращении транспортных расходов и расходов на выполнение ремонтов электровозов ВЛ80<sup>С</sup> за счет снижения потребности в ремонтах, при применении оптимальных межремонтных пробегов.

**Апробация работы.** Выполнена на заседаниях научного семинара кафедры «Электрическая тяга» МИИТа, а также - на конференциях: четвертая международная научно-практическая конференция «Транспорт Евразии XXI века». Казахстан. Алматы. 2006 г.; седьмая научно-практическая конференция «Безопасность движения поездов». Москва, МИИТ. 2006 г.; 20-я международная школа-семинар «Перспективные системы управления на железнодорожном транспорте и прогрессивные информационные технологии». Украина. Алушта. 2007 г.; пятая международная научно-практическая конференция "Trans-Mech-Art-Chem" Москва, МИИТ. 2008 г.

**Внедрение результатов работы.** Результаты научных исследований использованы для оптимального распределения электровозов ВЛ80<sup>С</sup> по ремонтным предприятиям АО «Локомотив» Республики Казахстан, а также в учебном процессе на кафедре «Локомотивы» Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева в дисциплинах «Организация, планирование и управление производством», «Эксплуатация и ремонт электроподвижного состава» и «Электроподвижной состав», что подтверждается актами.

**На защиту выносятся:**

- методика расчета методом линейного программирования оптимального распределения электровозов по ремонтным предприятиям;
- результаты расчета оптимального ресурса до смены бандажей колесных пар электровозов ВЛ80<sup>С</sup> в 4-х эксплуатационных депо;
- результаты расчета оптимального распределения электровозов между ремонтными предприятиями для проведения ремонта ТР-3.

**Публикации.** Основные результаты диссертации изложены в девяти опубликованных работах, из них 3 в изданиях, рекомендованных ВАК по специальности 05.22.07, перечень которых представлен в конце автореферата.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав текста, заключения по работе и списка использованных источников, включающего 93 наименований. Основная часть диссертации изложена на 119 страницах машинописного текста, содержит 35 рисунков и 25 таблиц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, приводится краткий анализ современного состояния исследуемых вопросов, формулируется цель и задачи исследования, и анонсированы основные положения диссертации.

**Первая глава** содержит не только обзор работ по совершенствованию системы технического обслуживания и ремонта подвижного состава, но и алгоритм распределения ремонтов электровозов ВЛ80<sup>С</sup> между ремонтными предприятиями.

Большой вклад в решение проблемы развития и размещения предприятий по ремонту подвижного состава и его узлов внесли работы ученых: Н.А. Антошина, С. Кульжинского, В.Н. Образцова, В.Д. Никитина, Ф.И. Шаульского, С.П. Бузанова, П.В. Бартенева, К.Ю. Скалова, И.Е. Савченко, С.В. Земблинова, И.И. Страковского, В.Н. Чернова, В.П. Жукова, Е.И. Сычева и др.

Экономические аспекты оптимального распределения ремонтных предприятий по полигону железных дорог, которые базируется на применении экономико-математических методов, изложены в работах А.А. Сафроновой, С.М. Аввакумова, В.А. Подоба, А.Г. Мекладзе и др.

Совершенствованию системы ремонта подвижного состава посвящены работы М.М. Агалова, Н.Н. Алексеенко, А.Ю. Балакина, М.М. Болотина, В.П. Бугаева, А.А. Воробьева, И.В. Дмитриенко, В.А. Козырева, Б.М. Куанышева, А.Г. Кузнецова, И.К. Лакина, В.С. Наговицына,

А.К. Омарбекова, А.Б. Подшивалова, А.Т. Осяева, А.В. Скребкова, В.Т. Стрельникова, П.А. Устича, Н.Г. Шабалина и др.

На кафедре «Электрическая тяга» МИИТа под руководством И.И. Исаева и А.В. Горского выполнен комплекс работ, которые позволяют на основе анализа процессов изнашивания и изучения потоков отказов оборудования локомотивов всесторонне решать задачу оптимизации системы ремонта в целом.

Проведенный анализ существующих методик и работ по исследуемому вопросу позволяет сделать следующие выводы:

1. Различные аспекты проблемы развития ремонтной базы нашли отражение во многих работах, где учеными и специалистами железнодорожного транспорта изучены вопросы оптимального развития и размещения предприятий по ремонту подвижного состава и его узлов.

2. В отношении оптимального распределения локомотивов по ремонтным предприятиям железной дороги исследования не проводились. В связи с этим целью настоящей работы является исследование вопросов оптимального распределения электровозов ВЛ80<sup>С</sup> по ремонтным предприятиям на железной дороге Республики Казахстан.

От выполненных ранее данная работа отличается тем, что впервые определяется распределение ремонтов электровозов эксплуатационных депо по ремонтным предприятиям при оптимальных пробегах до ремонтов со сменой бандажей колесных пар, обеспечивающее минимум суммарной стоимости ремонтов с транспортными затратами.

В Республике Казахстан имеются два базовых ремонтных предприятия ТОО «Алтын Орда 2004» и ТОО «Тулпар Ат», находящиеся в городах Астана и Жамбыл, которые проводят ремонт электровозов серии ВЛ80<sup>С</sup> в объеме ТР-3 (ТО-8) и 9 эксплуатационных депо, которые нуждаются в ремонте своих электровозов, расстояния между которыми представлены в табл. 1.

*Таблица 1*

**Расстояния между ремонтными предприятиями, проводящими ремонт ТР-3, и эксплуатационными депо, км.**

	Астана	Жана-Ермель	Караганда	Алматы	Шу	Жамбыл	Арысь	Костанай	Щапардор
ТОО «Алтын Орда 2004»	0	484	216	1335	1021	1257	1545	707	439
ТОО «Тулпар Ат»	1253	1737	1037	546	232	0	292	1960	1692

Сравнительный анализ ремонтных предприятий ТОО «Алтын Орда 2004» и ТОО «Тулпар Ат», выполняющих ремонт в объеме ТР-3 (ТО-8) электровозов ВЛ80<sup>С</sup>, показал, что они отличаются технологиями ремонта, компоновкой вспомогательного оборудования и квалификацией персонала, что в свою очередь отразилось на времени простоя в ремонте электровозов: 8,5 суток и 7 суток соответственно, поэтому годовая программа ремонтов этих предприятий составляет 60 и 72 электровоза представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Годовая программа ремонтов предприятий, проводящих ремонт в объеме  
ТР-3 по приказу №536-Ц**

Ремонтные предприятия	Кол-во рем позиций $C_j$ , ед	Время простоя из ТР-3 $t_{пj}$ , сут	Годовая программа ремонтов (мощность) $b_j$ , ед/год
ТОО «Алтын Орда 2004»	2	8,5	60
ТОО «Тулпар Ат»	2	7	72
<b>Всего</b>			<b>132</b>

При определении оптимального распределения электровозов ВЛ80<sup>С</sup> по ремонтным предприятиям, производящим ремонт ТР-3 (ТО-8), использован симплекс-метод линейного программирования. В качестве критерия оптимальности распределения локомотивов эксплуатационных депо между ремонтными предприятиями выбран минимум целевой функции - суммарной стоимости ремонтов с транспортными затратами.

Число электровозов, направляемых из  $i$ -го эксплуатационного депо в  $j$ -ое ремонтное предприятие обозначим как  $x_{ij}$ .

$c_{ij}$  - общая стоимость ремонта электровоза в объеме ТР-3 с учетом стоимости его доставки в ремонтное предприятие.

$n$  - число ремонтных предприятий;

$m$  - число эксплуатационных депо.

Для поиска оптимального распределения между ремонтными предприятиями электровозов необходимо минимизировать суммарные затраты на их ремонт и транспортировку. Целевая функция в этом случае примет вид

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (1)$$

при ограничениях:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, i \in \{1, 2, \dots, m\} - \text{потребности в ремонтах каждого } o_i - \text{го} \\ \text{депо должны быть удовлетворены} \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} \leq b_j, j \in \{1, 2, \dots, n\} - \text{количество электровозов, направляемых на} \\ \text{ремонт в } j - \text{е предприятие, не должно превышать его пропускную} \\ \text{способность (мощность)} \\ x_{ij} \geq 0 \end{array} \right. \quad (2)$$

$a_i$  - потребности  $i$ -го эксплуатационного депо, нуждающегося в ремонте электровозов;

$b_j$  - годовая программа ремонтов электровозов (мощность)  $j$ -го ремонтного предприятия.

Оптимальное распределение локомотивов по ремонтным предприятиям, производящими ремонт в объеме ТР-3 (ТО-8) электровозов ВЛ80<sup>С</sup>, сводится к решению задачи линейного программирования симплекс-методом по программе VBA, входящей в состав математического обеспечения современных персональных компьютеров.

Для решения задачи линейного программирования симплекс-методом составлен алгоритм выбора плана решения задачи, блок-схема которого представлена на рис. 1.

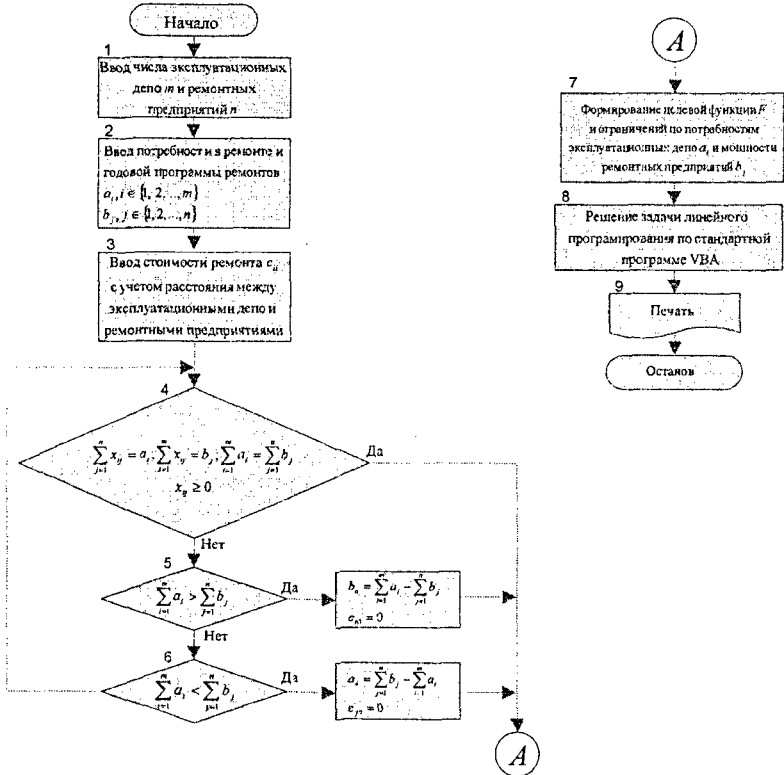


Рис. 1 Блок-схема алгоритма выбора плана решения задачи линейного программирования

Вторая глава посвящена расчету стоимости ремонта электровозов, стоимости доставки электровозов в ремонтные предприятия, потребности в ремонтах эксплуатационных депо и мощности ремонтных предприятий.

Общая стоимость ремонта локомотива в объеме ТР-3 (ТО-8) с учетом транспортных затрат определяется как

$$c_{ij} = c_{рем} + c_{дост ij} \quad (3)$$

где  $c_{рем}$  - стоимость ремонта 1 электровоза в объеме ТР-3 (ТО-8), которая задаётся АО «Локомотив», равна 3403 тыс. руб.;

$c_{дост ij}$  - стоимость доставки локомотива от  $i$ -го эксплуатационного депо к  $j$ -му ремонтному предприятию.



Затраты на доставку электровоза в ремонтное предприятие определяется как

$$C_{\text{дост}} = l_{ij} \cdot C_{\text{лок/км}}, \quad (4)$$

где стоимость 1 лок.-км. равна 51,95 руб.

Рассчитанные по (4) стоимости доставки электровозов в ремонтные предприятия представлены в табл. 3.

Таблица 3

### Стоимости доставки электровозов в ремонтные предприятия

Эксплуатационные депо	Стоимость доставки, тыс. руб.	
	ТОО «Алтын Орда 2004»	ТОО «Тулпар Ат»
Астана	0	65,09
Жана-Есиль	25,14	90,24
Караганда	11,22	53,87
Алматы	68,89	27,90
Шу	53,04	12,05
Жамбыл	65,09	0
Арысь	80,26	15,17
Костанай	36,73	101,82
Павлодар	22,81	87,90

С учетом стоимости доставки электровозов в ремонтные предприятия согласно (3) определены затраты на ремонт и доставку электровозов  $C_{ij}$ , которые представлены в табл. 4.

Таблица 4

### Затраты на ремонт с доставкой электровозов в ремонтные предприятия

Эксплуатационные депо	Номер $i$	Затраты на ремонт с доставкой $C_{ij}$ , тыс. руб.	
		ТОО «Алтын Орда 2004», $j = 1$	ТОО «Тулпар Ат», $j = 2$
Астана	1	3403	3468,09
Жана-Есиль	2	3428,14	3493,24
Караганда	3	3414,22	3456,87
Алматы	4	3471,89	3430,90
Шу	5	3456,04	3415,05
Жамбыл	6	3468,09	3403
Арысь	7	3483,26	3418,17
Костанай	8	3439,73	3504,82
Павлодар	9	3425,81	3490,90

Пропускная способность ремонтных предприятий определяется по формуле:

$$M_{pj} = \frac{255 \cdot C_{pj}}{t_{pj}}, \quad (5)$$

где 255 – число рабочих дней в году;

$t_{pj}$  – время занятости ремонтной позиции единицей данного вида ремонта, в сутках (табл. 2);

$C_{pi}$  – количество ремонтных позиций в цехах ТР-3 (ТО-8) на ремонтных предприятиях ТОО «Алтын Орда 2004» и ТОО «Тулпар Ат» (табл. 2).

Пропускная способность ремонтных предприятий ТОО «Алтын Орда 2004» и ТОО «Тулпар Ат» равна 60 и 72 ед./год соответственно.

Годовая программа текущих и капитальных ремонтов электровозов эксплуатационных депо определяется по следующей формуле:

$$N_K = \frac{S_{200}}{L_K} - \sum_{i>K} N_i, \quad (6)$$

где  $S_{200}$  – линейный годовой пробег электровозов, км.;

$L_K$  – пробег электровозов до ремонта K-го объема;

$\sum_{i>K} N_i$  – суммарное число ремонтов, имеющих большие объемы.

Фактическая (рассчитанная по межремонтным пробегам, установленным приказом №536-Ц) и плановая годовые потребности в ремонтах электровозов в объеме ТР-3 (ТО-8) эксплуатационных депо представлены в табл. 5.

Таблица 5

Потребности в ремонтах в объеме ТР-3 (ТО-8) -  $a_i = N_{i(ТР-3)}$

ТЧ	Дислокация	Линейный годовой пробег $S_{200}$ тыс. км	Плановая согласно приказу №536-Ц, ед.	Фактическая, ед.
[ТЧ 9]	Жана-Есиль	2684	4	5
[ТЧ 11]	Астана	10550	20	21
[ТЧ 28]	Алматы	4980	9	10
[ТЧ 30]	Шу	15754	30	31
[ТЧ 31]	Жамбыл	9689	17	19
[ТЧ 14]	Караганда	14023	26	28
[ТЧ 32]	Арысь	8141	16	16
[ТЧ 20]	Костанай	2560	5	5
[ТЧ 18]	Павлодар	2930	5	6
Итого:			132	141

Фактическая потребность в ремонте ТР-3 всех эксплуатационных депо, рассчитанная по (6), равна 141 ед. электровозов, следовательно, из-за недостаточной мощности ремонтных предприятий  $\left( \sum_{j=1}^2 b_j = 132 \right)$  ежегодно не выполняется 9 ремонтов ТР-3 (ТО-8), что сопровождается перепробегом электровозов и снижает надежность электровозов.

В третьей главе впервые решаются вопросы оптимального распределения электровозов по ремонтным предприятиям на железной дороге Республики Казахстан.

Распределение электровозов между ремонтными предприятиями, заданное существующей нормативной документацией - приказом №536-Ц, представлено в табл. 6.

Таблица 6

Эксплуатационные депо	Потребности в ремонтах, заданные приказом №536, ед. в год	Ремонтные предприятия	
		ТОО «Алтын Орда 2004»	ТОО «Гулпар Аты»
		Распределения между РП, ед. в год	
Астана	20	20	0
Жанэ-Есиль	4	4	0
Караганда	26	26	0
Алматы	9	0	9
Шу	30	0	30
Жамбыл	17	0	17
Арысь	16	0	16
Костанай	5	5	0
Павлодар	5	5	0
Итого	132	60	72
Мощность предприятий, ед. в год		132	

Распределение ремонтов электровозов по ремонтным предприятиям, заданное приказом №536-Ц, берется в приказном порядке. Для определения оптимального распределения ремонтов электровозов используем симплекс-метод линейного программирования.

Оптимальный план распределения электровозов ВЛ80<sup>С</sup> по ремонтным предприятиям определен симплекс-методом с помощью программы VBA.

**Планировая потребность.** В существующей системе ремонта согласно приказа №536-Ц межремонтный пробег при ТР-3 (ТО-8) составляет 350 тыс.км., потребности в ремонтах по всем девяти эксплуатационным депо составляют 132 ед. электровозов, что соответствует годовой программе ремонтов ТР-3 (ТО-8) двух ремонтных предприятий. Сумма заявок на ремонт равна годовой программе ремонтов электровозов ремонтных предприятий, т.е.  $\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$ .

Целевая функция в этом случае примет вид

$$F = \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^2 c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (7)$$

при ограничениях

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^2 x_{ij} = a_i, i \in \{1, 2, \dots, 9\} \\ \sum_{i=1}^9 x_{ij} = b_j, j \in \{1, 2\} \\ x_{ij} \geq 0 \end{cases} \quad (8)$$

Здесь  $c_{ij}$  ( $i=1+9, j=1+2$ ) приведены в табл. 4. Потребности в ремонтах ТР-3, установленные приказом №536-Ц, приведены в четвертой колонке табл. 5. Мощности ремонтных предприятий  $b_1 = 60$  и  $b_2 = 72$  ед./год.

На основании этих параметров по программе VBA было рассчитано оптимальное распределение электровозов по ремонтным предприятиям согласно приказа №536-Ц, представленное в табл. 7.

Таблица 7

Эксплуатационные депо	Потребности в ремонтах, ед. в год	Ремонтные предприятия	
		ТОО «Алтын Орда 2004»	ТОО «Тулпар Ат»
		Распределения между РП, ед. в год	
Астана	20	20	0
Жана-Есиль	4	4	0
Караганда	26	26	0
Алматы	9	0	9
Шу	30	0	30
Жамбыл	17	0	17
Арысь	16	0	16
Костанай	5	5	0
Павлодар	5	5	0
Итого	132	60	72
Мощность предприятий, ед. в год		132	

Из табл. 7 видно, что потребности в ремонтах ТР-3 (ТО-8) электровозов ВЛ180<sup>С</sup> всех эксплуатационных депо удовлетворены, а производственные мощности ремонтных предприятий использованы на 100%.

Минимальная суммарная стоимость ремонта с доставкой в ремонтные предприятия ТОО «Алтын Орда 2004» и ТОО «Тулпар Ат» составляет 450741 тыс.руб.

Как видно из табл. 6 и 7, распределение электровозов, заданное существующей нормативной документацией, и рассчитанное оптимальное распределение электровозов по ремонтным предприятиям при тех же начальных условиях совпадают, что свидетельствует о достоверности результатов проведенных расчетов.

**Фактическая потребность.** Фактические потребности в ремонтах ТР-3 (ТО-8), рассчитанные по межремонтным пробегам, установленным приказом №536-П, в сумме составляют 141 ремонт электровозов в год.

Так как фактическая потребность в ремонте электровозов превысила годовую программу ремонтов ТР-3 (ТО-8) ремонтных предприятий и часть электровозов уже не смогут ремонтироваться в ТОО «Алтын Орда 2004» и ТОО «Тулпар Ат», т.е.  $\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j$ , то для решения задачи оптимального распределения электровозов симплекс-методом введено дополнительное фиктивное ремонтное предприятие с годовой программой ремонтов  $b_n = 9$  и стоимостью доставки и ремонта  $c_{in}$ , равной нулю.

После введения фиктивного ремонтного предприятия задача линейного программирования приняла сбалансированный (закрытый) тип. В этом случае целевая функция принимает вид

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=0}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (9)$$

при ограничениях

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=0}^9 x_{ij} = a_i, i \in \{1, 2, \dots, 9\} \\ \sum_{j=1}^9 x_{ij} = b_j, j \in \{0, 1, 2\} \\ x_{ij} \geq 0 \end{array} \right. \quad (10)$$

Оптимальное распределение электровозов по ремонтным предприятиям с учетом фактических потребностей эксплуатационных депо представлено в табл.8.

Таблица 8

Эксплуатационные депо	Потребности в ремонтах, ед. в год	Ремонтные предприятия		
		ТОО «Алтын Орда 2004»	ТОО «Тулпар Ат»	Число не отремонтированных электровозов
Распределения между РП, ед. в год				
Астана	21	21	0	0
Жана-Есиль	5	5	0	0
Караганда	28	28	0	0
Алматы	10	0	6	4
Шу	31	0	31	0
Жамбыл	19	0	19	0
Арысь	16	0	16	0
Костанай	5	0	0	5
Павлодар	5	6	0	0
<b>Итого</b>	<b>141</b>	<b>60</b>	<b>72</b>	<b>9</b>
Мощность предприятий, ед. в год		132 плюс 9 не отремонтированных электровозов		

Расчет оптимального распределения ремонтов электровозов ВЛ80<sup>С</sup> показал, что при реализации межремонтных пробегов, установленных приказом №536-Ц, ремонтные предприятия ТОО «Алтын Орда 2004» и ТОО «Тулпар Ат» не справляются с фактической потребностью в ремонте электровозов, в результате чего ежегодно остаются не отремонтированными 9 электровозов. При этом минимальная суммарная стоимость ремонтов с доставкой электровозов равна 450556 тыс.руб.

Эксплуатационные депо Алматы и Костанай находятся на большом расстоянии от ремонтных предприятий ТОО «Алтын Орда 2004» и ТОО «Тулпар Ат». Так как затраты на ремонт с доставкой электровозов из этих депо в ремонтные предприятия высокие, то с точки зрения экономии выгодно, чтобы 4 и 5 ремонтов электровозов эксплуатационных депо Алматы и Костанай не выполнялись. С практической точки зрения такое распределение электровозов вряд ли приемлемо, а с математической – самый оптимальный вариант. Поэтому, при дефиците ремонтных мощностей, оптимальное распределение электровозов по ремонтным предприятиям в дальнейшем следует корректировке, чтобы исключить ситуацию, при которой в одном или нескольких эксплуатационных депо, наиболее удаленных от ремонтных предприятий, большая часть, или даже все электровозы, нуждающиеся в ремонте, останутся не отремонтированными, т.е. необходимо более равномерно распределить не отремонтированные электровозы между всеми эксплуатационными депо, как это делается в настоящее время на Казахской

железной дороге.

Проведение ремонта ТР-3 (ТО-8) диктуется необходимостью ремонта колесных пар со сменой изношенных бандажей, межремонтный ресурс которых определяет пробег до ремонта ТР-3 (ТО-8). Поэтому важной задачей является поддержание колесных пар локомотивного парка в работоспособном состоянии и планирование своевременных и рациональных сроков их ремонтов.

Расчеты, проведенные в диссертации показали, что при межремонтном пробеге 350 тыс.км., установленном приказом №536-Ц, среднее значение толщины бандажей колесных пар в депо Жамбыл, Караганда, Астана и Алматы составляет в среднем 60 – 65 мм. Так как минимально допустимая толщина для смены бандажей колесных пар является 45 мм., то очевидно, что недоиспользуется ресурс колесной пары. Поэтому, необходимо изучить вопрос о том, действительно ли приказные межремонтные пробеги объективно отражают фактические потребности, или есть возможность увеличения межремонтных пробегов и тем самым сокращения потребности в ремонтах.

В четвертой главе решаются вопросы определения оптимальных пробегов до смены бандажей колесных пар и оптимального распределения ремонтов электровозов при оптимальных межремонтных пробегах.

В работе в качестве исходной информации для расчета параметров оптимальной системы ремонта электровозов использована информация об изменении с увеличением наработки толщины бандажей колесных пар электровозов ВЛ80<sup>С</sup> эксплуатационных депо Жамбыл, Караганда, Астана и Алматы железной дороги Республики Казахстан.

Фактические выборки статического материала о толщине бандажей достаточно представительны, так как наблюдения велись за парком электровозов четырех эксплуатационных депо Республики Казахстан в течение 2006 – 2007 гг.

Выборки толщины бандажей колесных пар электровозов ВЛ80<sup>С</sup> хорошо описываются нормальным законом распределения

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}}, \quad (11)$$

где  $m_x$  – математическое ожидание толщины бандажа;

$\sigma_x$  – среднеквадратическое отклонение толщины бандажа;

$x$  – текущее значение толщины бандажа колесных пар.

Для колесных пар электровозов депо Жамбыл построены 5 статистических распределений толщины бандажей при различных наработках от их смены, 9 распределений для депо Караганда, 23 и 14 для депо Астана и Алматы. Проверка по критерию  $\chi^2$  показала хорошее соответствие статистических распределений толщины бандажей нормальному закону, числовые характеристики которого  $m_x$  и  $\sigma_x$  зависят от наработки (пробега) колесных пар от момента смены бандажей.

Полученные зависимости от пробега  $m_x(t)$  и  $\sigma_x(t)$  толщины бандажей колесных пар электровозов ВЛ80<sup>С</sup> 4-х эксплуатационных депо представлены на рис. 2.

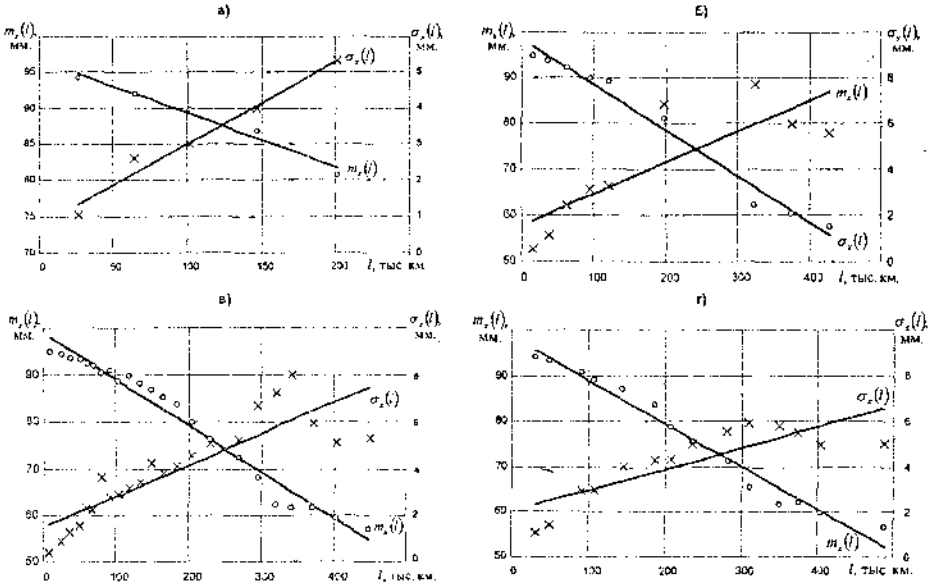


Рис. 2 Зависимости от пробега числовых характеристик законов распределения толщины бандажей колесных пар электровозов депо а) Жамбыл, б) Караганда, в) Астана, г) Алматы

В табл. 9 приведены коэффициенты зависимостей числовых характеристик  $m_x(l)$  и  $\sigma_x(l)$  толщины бандажей колесных пар электровозов ВЛ80<sup>С</sup>, рассчитанные методом наименьших квадратов.

Таблица 9

Контролируемый параметр	Коэффициенты зависимостей							
	Локомотивное депо Жамбыл				Локомотивное депо Караганда			
	$m_x(l)$		$\sigma_x(l)$		$m_x(l)$		$\sigma_x(l)$	
	$a$ , мм/тыс. км	$b$ , мм	$a$ , мм/тыс. км	$b$ , мм	$a$ , мм/тыс. км	$b$ , мм	$a$ , мм/тыс. км	$b$ , мм
Толщина бандажа колесной пары	-0,075	96,814	0,023	0,704	-0,099	98,361	0,014	1,542
Контролируемый параметр	Локомотивное депо Астана				Локомотивное депо Алматы			
	$m_x(l)$		$\sigma_x(l)$		$m_x(l)$		$\sigma_x(l)$	
	$a$ , мм/тыс. км	$b$ , мм	$a$ , мм/тыс. км	$b$ , мм	$a$ , мм/тыс. км	$b$ , мм	$a$ , мм/тыс. км	$b$ , мм
Толщина бандажа колесной пары	-0,092	98,869	0,014	1,422	-0,095	98,409	0,009	2,079

На рис. 3 показан характер изменения распределения толщины бандажей колесных пар при увеличении наработки электровозов ВЛ80<sup>С</sup> депо Жамбыл. Аналогично, построения выполнены и для остальных 3-х эксплуатационных депо Караганда, Астана и Алматы.

Заштрихованная площадь на рис. 3 представляет собой вероятность  $Q(l)$  выхода при наработке  $l$  толщины бандажей за пределы установленного допуска  $x_{доп} = 45$  мм., т.е. вероятность параметрического отказа  $Q(l) \equiv F(l)$ , где  $F(l)$  - функция распределения ресурса до смены бандажей колесных пар.

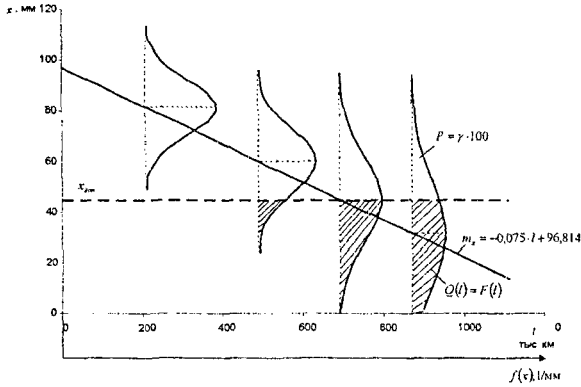


Рис. 3 Расчет функции распределения ресурса до смены бандажей колесных пар электровозов ВЛ80<sup>С</sup> депо Жамбыл

С увеличением пробега  $l$  возрастает вероятность отказа (выхода толщины бандажа за установленные пределы  $x_{доп}$ )  $Q(l) \equiv F(l)$ . Значение  $F(l)$  - функции распределения наработки до отказа (ресурса до смены бандажей) при фиксированной наработке  $l$ , определяется как

$$F(l) = \frac{1}{\sigma_x(l)\sqrt{2\pi}} \int_{m-3\sigma}^{x_{доп}} \exp\left[-\frac{(x - m_x(l))^2}{2\sigma_x^2(l)}\right] dx. \quad (12)$$

Интеграл, входящий в (12), не выражается в элементарных функциях, поэтому его значение определяется численными методами с применением ЭВМ.

Полученные функции распределения ресурса до смены бандажей колесных пар электровозов в депо Жамбыл, Караганда, Астана и Алматы приведены на рис. 4.

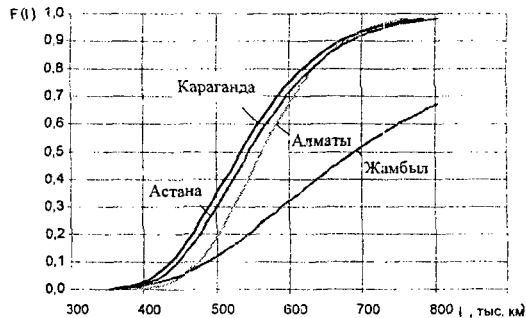


Рис. 4 Функции распределения ресурса бандажей колесных пар



В качестве целевой функции для определения оптимального ресурса до смены бандажей колесных пар принимаются средние удельные суммарные затраты на проведение плановых и неплановых ремонтов:

$$q(L) = \frac{1}{L} \left[ C_{\pi} \int_0^L \omega(t) dt + C_{\pi} \right] \quad (13)$$

или пропорциональная  $q(L)$  функция  $S(L)$

$$S(L) = \frac{K}{L} \int_0^L \omega(t) dt + \frac{1}{L}, \quad (14)$$

$S(L)$  - суммарное удельное приведенное к единице наработки число ремонтов;

$C_{\pi}$  - затраты на неплановый ремонт;

$C_{\pi}$  - затраты на плановый ремонт;

$\omega(t)$  - функция параметра потоков отказов;

$K = C_{\pi} / C_{\pi}$  - отношение затрат на неплановые и плановые ремонты. Для случая бандажей колесных пар примем  $K=1$ , так как смена бандажей на неплановые и плановые ремонты требует примерно одинаковых затрат.

Для нахождения оптимального ресурса до смены бандажей колесных пар необходимо рассчитать функцию параметра потока отказов. Известно, что параметр потока отказов связан с функцией плотности распределения наработки между отказами интегральным уравнением Вольтерра 2-го рода:

$$\omega(t) = f(t) + \int_0^t \omega(\tau) f(t-\tau) d\tau. \quad (15)$$

По известной функции распределения наработки между отказами  $F(t)$  определяется функция плотности распределения как ее первая производная:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}. \quad (16)$$

В дискретной форме уравнение (15) записывается в виде системы рекуррентных уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} w_0 = f_0 \\ w_1 = \frac{f_1 + h w_0 f_1}{1 - \frac{h f_0}{2}} \\ \dots \\ w_j = \frac{f_j + h(w_0 f_j + 2 \sum_{i=1}^{j-1} w_i f_{j-i})}{1 - \frac{h f_0}{2}} \\ j = 2 \dots n \end{array} \right. \quad (17)$$

Блок-схема программы решения интегрального уравнения численным методом представлена на рис. 5

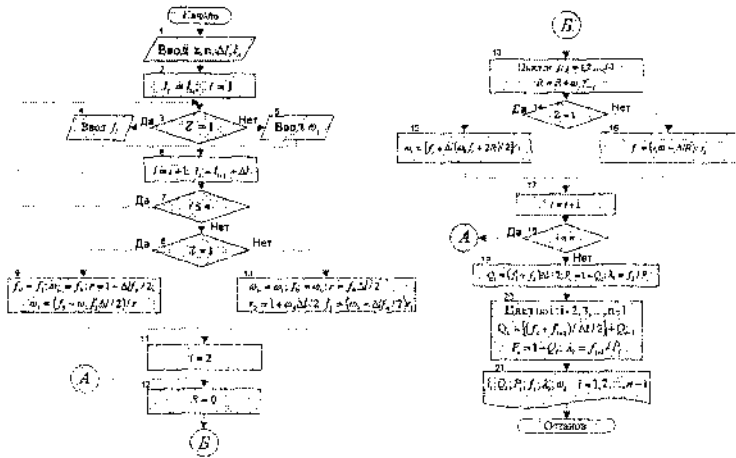


Рис. 5 Блок-схема решения интегрального уравнения

Зависимости от наработки суммарного удельного приведенного числа смен бандажей (по толщине) колесных пар электровозов ВЛ80<sup>С</sup> четырех эксплуатационных депо приведены на рис. 6.

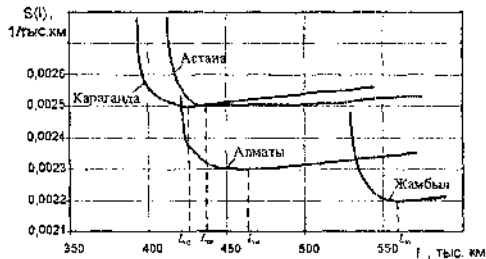


Рис. 6 Зависимости от наработки суммарного удельного приведенного числа смен бандажей

Зависимости от наработки суммарного удельного приведенного числа ремонтов со сменой бандажей колесных пар (рис. 6) показывают, что функции  $S(L)$  при  $K=1$  имеет минимум, которому соответствуют оптимальные межремонтные пробеги.

Результаты расчета оптимальных пробегов до ремонтов со сменой бандажей колесных пар электровозов ВЛ80<sup>С</sup> приведены в табл. 10.

Таблица 10

Смена бандажа	$i$	$L_0$ , тыс. км
депо Жамбыл	1	554
депо Караганда	2	432
депо Астана	3	441
депо Алматы	4	464

Полученные в результате расчетов оптимальные сроки смены бандажей колесных пар для одного и того же значения коэффициента соотношения затрат на плановые и неплановые ремонты  $K$  отличаются. Это говорит о том, что условия эксплуатации значительно влияют на толщину бандажей колесных пар электровозов ВЛ80<sup>С</sup>. Поэтому, сроки проведения ремонтов ТР-3 (ТО-8) необходимо назначать, учитывая фактическое техническое состояние колесных пар ЭПС.

Предлагаемые схемы формирования ремонтного цикла при оптимальных межремонтных пробегах электровозов в 4-х эксплуатационных депо представлены на рис. 7.

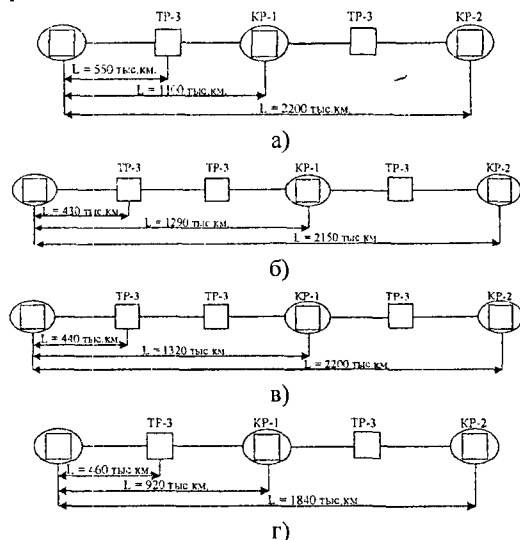


Рис. 7 Предлагаемые схемы формирования ремонтного цикла при оптимальных межремонтных пробегах электровозов в 4-х эксплуатационных депо: а) Жамбыл; б) Караганда; в) Астана; г) Алматы

По формуле (6) определены потребности в ремонтах ТР-3 (ТО-8) в эксплуатационных депо Жамбыл, Караганда, Астана и Алматы при оптимальных межремонтных пробегах 550 тыс.км., 430 тыс.км., 440 тыс.км. и 460 тыс.км. соответственно.

Полученные результаты расчета потребности в ремонтах ТР-3 (ТО-8) для указанных эксплуатационных депо представлены в табл. 11.

Таблица 11

Эксплуатационные депо	Потребности в ремонтах, ед. в год	
	Существующие по приказу №536-Ц	Оптимальные
Жамбыл	17	9
Караганда	26	22
Астана	20	16
Алматы	9	5
<b>Всего:</b>	<b>72</b>	<b>52</b>

Таким образом, благодаря применению оптимальных межремонтных пробегов в эксплуатационных депо Жамбыл, Караганда, Астана и Алматы удалось снизить потребности в ремонтах ТР-3 (ТО-8) на 20 ед. ремонтов электровозов в год.

Поскольку изменилась потребность в ремонте в 4-х эксплуатационных депо, то изменится и оптимальное распределение ремонтов электровозов всех 9 рассматриваемых депо.

Для распределения электровозов по ремонтным предприятиям использованы потребности в ремонтах, рассчитанные по оптимальным межремонтным пробегам в эксплуатационных депо Жамбыл, Караганда, Астана и Алматы (табл. 11).

Для остальных эксплуатационных депо - Жана-Есиль, Шу, Арысь, Костанай и Павлодар - оставлены фактические потребности, приведенные в табл.5. Итоговая потребность в ремонте показана в табл. 12.

Таблица 12

Эксплуатационные депо	Потребности в ремонтах ед. в год
Астана	16
Жана-Есиль	4
Караганда	22
Алматы	5
Шу	30
Жамбыл	9
Арысь	16
Костанай	5
Павлодар	5
Итого	112

Итоговая суммарная годовая потребность в ремонте составила 112 ед. электровозов, что не соответствует годовой программе ремонта ТР-3 (ТО-8) двух ремонтных предприятий. Сумма заявок на ремонт меньше годовой программы ремонтов электровозов ремонтных предприятий, т.е.  $\sum_{i=1}^m a_i < \sum_{j=1}^n b_j$ .

Для решения задачи линейного программирования введено дополнительное фиктивное эксплуатационное депо с потребностью в ремонтах  $a_0 = 20$ , которое отправит на ремонт электровозы со стоимостью их ремонта и доставки  $c_{0j}$ , равной нулю.

В этом случае, целевая функция принимает вид

$$F = \sum_{i=0}^9 \sum_{j=1}^2 c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \quad (18)$$

при ограничениях

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^2 x_{ij} = a_i, i \in \{0, 1, 2, \dots, 9\} \\ \sum_{i=0}^9 x_{ij} = b_j, j \in \{1, 2\} \\ x_{ij} \geq 0 \end{cases} \quad (19)$$

Оптимальное распределение электровозов по ремонтным предприятиям при оптимальных межремонтных пробегах 4-х депо представлено в табл. 13.

Таблица 13

Эксплуатационные депо	Потребности в ремонтах, ед. в год	Ремонтные предприятия	
		ТОО «Алтын Орда 2004»	ТОО «Тулпар Ат»
		Распределения между РП, ед. в год	
Астана	16	16	0
Жана-Есиль	4	4	0
Караганда	22	22	0
Алматы	5	0	5
Шу	30	0	30
Жамбыл	9	0	9
Арысь	16	0	16
Костанай	5	5	0
Павлодар	5	5	0
<b>Итого</b>	<b>112</b>	<b>52</b>	<b>60</b>
Мощность предприятий, ед. в год	112 плюс 20 ремонтов электровозов в резерве предприятий		

При увеличении межремонтного пробега электровозов 4-х депо снижается потребность в ремонте и 20 ремонтов электровозов находятся в резерве ремонтных предприятий: ТОО «Алтын Орда 2004» - 8 и ТОО «Тулпар Ат» - 12 ремонтов электровозов в год.

Суммарная стоимость ремонта с доставкой в случае, когда было введено дополнительное фиктивное эксплуатационное депо и, тем самым, сбалансированы потребности, равна 382525 тыс.руб.

Суммарная стоимость ремонтов электровозов при оптимальных межремонтных пробегах в 4-х депо уменьшилась за счет уменьшения числа ремонтов и снижения затрат на транспортировку электровозов в ремонтные предприятия, что приводит к явной экономии и, в свою очередь, свидетельствует о целесообразности научного подхода к определению оптимальных межремонтных пробегов во всех эксплуатационных депо.

Годовая экономия от применения оптимальных межремонтных пробегов в эксплуатационных депо Жамбыл, Караганда, Астана и Алматы за счет снижения потребности в ремонтах электровозов составила 68216 тыс.руб. (327436,8 тыс.тг.).

### Заключение

На основании исследований, представленных в диссертации, получены следующие результаты.

1. Система ремонта локомотивов, установленная на железной дороге Республики Казахстан, регламентируется нормативами, созданными на основе приказов МТК №536-Ц от 19.08.1999г. и №202-1. Согласно этим приказам для ремонта локомотивов эксплуатационных депо принята планово-предупредительная система ремонтов, нормы межремонтных пробегов которых одинаковы, однако условия эксплуатации электровозов значительно отличаются в различных регионах, что влияет на показатели надежности локомотивов.

2. При определении оптимального распределения электровозов ВЛ80<sup>С</sup> по ремонтным предприятиям, производящим ремонт ТР-3 (ТО-8), использован симплекс-метод линейного программирования. В качестве критерия оптимальности распределения локомотивов эксплуатационных депо между ремонтными предприятиями выбран минимум целевой функции - суммарной стоимости ремонтов с транспортными затратами.

3. Программное обеспечение, реализующее на ЭВМ симплекс-метод линейного программирования, осуществляет расчет оптимального распределения электровозов по ремонтным предприятиям в соответствии с заданными параметрами: годовой программой ремонта ремонтных предприятий; количеством заявок на ремонт из депо, эксплуатирующих электровозы; стоимостью ремонтов с доставкой электровозов в ремонтные предприятия.

4. Сравнительный анализ ремонтных предприятий ТОО «Алтын Орда 2004» и ТОО «Гулпар Ат», выполняющих ремонт в объеме ТР-3 (ТО-8) электровозов ВЛ80<sup>С</sup>, показал, что они отличаются технологиями ремонта, компоновкой вспомогательного оборудования и квалификацией персонала, что, в свою очередь, отразилось на времени простоя в ремонте электровозов: 8,5 суток и 7 суток соответственно, поэтому годовая программа ремонтов этих предприятий составляет 60 и 72 электровоза при фактической потребности эксплуатационных депо 141 ремонт электровозов в год.

5. Впервые решены вопросы оптимального распределения электровозов по ремонтным предприятиям на железной дороге Республики Казахстан. Расчет оптимального распределения ремонтов электровозов ВЛ80<sup>С</sup> показал, что при реализации межремонтных пробегов, установленных приказом №536-Ц, ремонтные предприятия ТОО «Алтын Орда 2004» и ТОО «Гулпар Ат» не справляются с фактической потребностью в ремонте электровозов, в результате чего ежегодно остаются не отремонтированными 9 электровозов. При этом минимальная суммарная стоимость ремонтов с доставкой электровозов равна 450741 тыс.руб.

6. Рассчитанное методом линейного программирования оптимальное распределение электровозов между ремонтными предприятиями в условиях дефицита их производственных мощностей нуждается в некоторой корректировке, чтобы исключить ситуацию, при которой в одном или нескольких эксплуатационных депо, наиболее удаленных от ремонтных предприятий, большая часть, или даже все электровозы, нуждающиеся в ремонте, останутся не отремонтированными, т.е. необходимо более равномерно распределить не отремонтированные электровозы между всеми эксплуатационными депо на Казахстанской железной дороге.

7. Проведение ремонта ТР-3 (ТО-8) диктуется, главным образом, необходимостью ремонта колесных пар со сменой изношенных бандажей, межремонтный ресурс которых определяет пробег до ремонта ТР-3 (ТО-8).

8. При межремонтном пробеге 350 тыс.км., установленном приказом №536-Ц, значения толщины бандажей колесных пар в депо Жамбыл, Караганда, Астана и Алматы составляют в среднем 60 – 65 мм., при минимально допустимой величине 45 мм., следовательно, существенно недоиспользуется

ресурсе колесной пары по толщине бандажа, что свидетельствует о необходимости определения оптимальных пробегов до ремонта ТР-3 (ГО-8) со сменной бандажей колесных пар.

9. В качестве критерия оптимальности при расчете рациональных сроков смены бандажей колесных пар выбран минимум суммарных удельных затрат на выполнение плановых и неплановых ремонтов.

10. Оптимальные пробеги до ремонта ТР-3 (ГО-8) со сменой бандажей колесных пар составляют: 550 тыс.км. в депо Жамбыл, 430 тыс.км. в депо Караганда, 440 тыс.км. в депо Астана и 460 тыс.км. в депо Алматы.

11. Сравнительный анализ предлагаемых схем формирования ремонтного цикла электровозов ВЛ80<sup>С</sup> показывает, что они отличаются не только от установленной приказом №536-Ц, но и являются различными в разных условиях эксплуатации.

12. При увеличении межремонтных пробегов только в 4-х депо полностью удовлетворяется годовая потребность в ремонте ТР-3 всех эксплуатационных депо, так как она уменьшается до 112 ремонтов и 20 ремонтов электровозов находятся в резерве ремонтных предприятий, т.е. ликвидируется дефицит их производственных мощностей. Суммарная стоимость ремонтов и доставки электровозов при оптимальных межремонтных пробегах только в 4-х депо уменьшилась за счет снижения числа ремонтов и снижения затрат на транспортировку электровозов в ремонтные предприятия до 382525 тыс.руб. в год.

13. Годовая экономия от применения оптимальных межремонтных пробегов в эксплуатационных депо Жамбыл, Караганда, Астана и Алматы составила 68216 тыс.руб. (327436,8 тыс.тг.)

14. Методика оптимального распределения электровозов ВЛ80<sup>С</sup> по ремонтным предприятиям разработана и реализована на ЭВМ на основе теории вероятностей, оптимальных решений, надежности и метода линейного программирования. Использованные при её разработке алгоритмы и программное обеспечение дают возможность производить аналогичные расчеты для других железных дорог и для любых других видов транспорта.

#### **Основные положения диссертации опубликованы в работах:**

1. Горский А.В., Чигамбаев Т.О. Аналитические зависимости в расчетах надежности // Мир транспорта. – 2008, №2.- с.10-13.

2. Горский А.В., Скребков А.В., Цихалевский И.С., Чигамбаев Т.О. Оптимальное распределение локомотивов по ремонтным предприятиям сети железных дорог. //Вестник РГУПС. – 2008, №3.-с. 26-29.

3. Горский А.В., Скребков А.В., Цихалевский И.С., Чигамбаев Т.О. Методика и алгоритм оптимального распределения локомотивов по ремонтным предприятиям //Транспорт Урала. – 2008, №3 (18).- с.25-27.

4. Горский А.В., Чигамбаев Т.О., Соколов С.А. Определение ремонтных действий для минимизации разброса диаметров бандажей колесных пар //Материалы четвертой международной научно-практической конференции «Транспорт Евразии XXI века». 3 том, Казахстан – Алматы. - 2006, с.134-137.

5. Горский А.В., Чигамбаев Т.О., Соколов С.А. Определение технологического износа бандажей колесных пар //Материалы четвертой международной научно-практической конференции «Транспорт Евразии XXI века». 3 том, Казахстан – Алматы. - 2006, с.137-140.

6. Соколов С.А., Чигамбаев Т.О. Автоматизированная система учета и управления техническим состоянием колесных пар локомотивов //VI научно-практическая конференция «Безопасность движения поездов». Труды. Москва, МИИТ, октябрь 2006, с.V-36 – V-37.

7. Чигамбаев Т.О., Ванин И.В. Оптимальные сроки восстановления бандажей колесных пар электровозов ВЛ80<sup>С</sup> локомотивного депо Горький-Сортировочная Горьковской железной дороги //Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. Украина – Харьков.-2007, №4. с.26-27.

8. Чигамбаев Т.О., Ванин И.В. Определение зависимостей от наработки числовых характеристик контролируемых параметров бандажей колесных пар //Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. Украина – Харьков.-2007, №4. - с.27-28.

9. Чигамбаев Т.О. Определение зависимостей от пробега характеристик толщины бандажа колесных пар. "Trans-Mech-Art-Chem" //Труды V международной научно-практической конференции. – М.: МИИТ, апрель 2008, с. 251-253.

### Чигамбаев Темырбай Отарбаевич

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

## ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕМОНТОВ ТР-3 (ТО-8) ЭЛЕКТРОВОЗОВ ВЛ80<sup>С</sup> МЕЖДУ БАЗОВЫМИ ДЕПО НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Подписано к печати 29.12.08. Объем 1,5 п.л.  
Печать офсетная Формат 60x84/16  
Тираж 80 экз. Заказ № 619.

Типография МИИТа, 127994, Москва, ул. Образцова, 15