

йЬ 96(/

к 3/

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА УКРАИНЫ  
ХАРЬКОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

738g 96

На правах рукописи

Бутько Татьяна Васильевна

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА  
ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО\*  
СОДЕРЖАНИЯ ЛОКОМОТИВОВ

05.22.07 - Подвижной состав железных дорог и тяга поездов

Диссертация на соискание ученой степени  
доктора технических наук

\* i

л

-#<-\*

f.

Научный консультант

доктор технических наук

профессор Гартаковский

Эдуард Давидович. ^'

- • ЧХ "а

Харьков - 1996 г

## СОДЕРЖАНИЕ

	стр
ВВЕДЕНИЕ .....	4
1. СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО СОДЕРЖАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛОКОМОТИВОВ .....	11
1.1 » Анализ системы технического содержания в стране и за рубежом .....	11
1.2 , Обзор работ по оптимизации системы технического содержания транспортных средств и постановка задачи .....	26
2. ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНИРОВА- НИЯ СИСТЕМЫ "ЛОКОМОТИВНЫЙ ПАРК - УЧАСТКИ ТО И ТР" ..	38
2.1 » Динамическая модель функционирования локомотивного пар- ка в распоряжении депо .....	38
2.2 в Исследование устойчивости состояний локомотивного парка депо .....	58
2.3 , Анализ изменения показателей устойчивого функционирова- ния системы "локомотивный парк в распоряжении депо - участки ТО и ТР" .....	62
3. ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОЙ ЦИКЛИЧНОС- ТИ И ПЕРИОДИЧНОСТИ ТО И ТР ЛОКОМОТИВОВ . . * & ...	67
3.1 » Создание целевой функции суммарных затрат и способы опреде- ления ее экстремума .....	67
3.2 » Алгоритм построения Оптимальной системы ТОР локомотивов .....	84
* 3.3 » Создание оптимальной системы ТОР и адаптивных технологи- ческих процессов локомотивов .....	4

4, РАЗРАБОТКА МНОГОЦЕЛЕВОЙ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЕМОНТНЫХ УЧАСТКОВ ЛОКОМОТИВОВ В ДЕПО .....	142
4.1. Выбор и обоснование критерия качества управления функционированием участков ТО и ТР локомотивов в депо .....	142
4.2, Создание и обоснование стохастической модели обслуживания локомотивов в депо .....	150
4.3, Исследование и анализ погрешностей моделей функционирования участков ТО и ТР локомотивов как СМО.....	198
4.4, Исследование функционирования ремонтных участков локомотивов .....	211
5. АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ВРЕМЯ ПРОСТОЯ ЛОКОМОТИВОВ НА РЕМОНТНОЙ ПОЗИЦИИ .....	234
5.2, Оптимизация размеров запасов узлов и агрегатов локомотивов в депо ... ..	234
5.3, Моделирование размеров оборотных запасов узлов и агрегатов локомотивов в депо .....	245
	*
5.4, Исследование и оценка показателей эксплуатационной и ремонтной технологичности конструкции локомотивов.....	266
5.5, Методы моделирования потребного количества ремонтных позиций, бригад и режима их работы .....	>... 272
6 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОПТИМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РЕМОНТА ЛОКОМОТИВОВ .....	??§2
* ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	А .. ^86 /
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	290
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	308

## ВВЕДЕНИЕ

Переход от административных методов управления к экономическим требует повышения эффективности и качества работы всех отраслей народного хозяйства Украины, в том числе и железнодорожного транспорта.

В настоящее время при сложившемся экономическом положении в стране железнодорожный транспорт должен уметь адаптироваться к переменным грузо- и пассажиропотокам, ценам на энергоносители, новый подвижной состав, запасные части и агрегаты, заработной плате своих работников для обеспечения наибольшей эффективности своего функционирования.

Одним из важнейших звеньев железнодорожного транспорта является локомотивное хозяйство, основным содержанием деятельности которого является обеспечение перевозочного процесса исправными локомотивами, что достигается рациональным использованием и эффективной системой их технического содержания. На долю локомотивного хозяйства приходится около 11,5% основных фондов и почти 40% эксплуатационных расходов железных дорог. Из всех эксплуатационных затрат, расходуемых на локомотивное хозяйство около 10%

приходится на техническое обслуживание локомотивного парка. Поэтому в условиях экономических затруднений большое значение имеет решение вопросов рационального использования всех видов ресурсов: материальных, трудовых, денежных и др. .

Уменьшение величины грузопотока на железных дорогах Украины привело к тому, что более 50% парка локомотивов оказались отставленными в резерв, а значительная часть ремонтных позиций в депо для проведения технических обслуживаний (ТО) и текущих ремонтов (ТР) простаивают, т.е. образовались большие избыточные мощности по оборудованию и контингенту работающих.

Помимо этого, по данным Укрзалізниці ежесуточно выходят из- строя/ более \ 1000 единиц локомотивов, что составляет более 20% эксплуатируем^^ парка. Значительно выросли браки в работе; Учитывая это, в настоящее время оздоровление локомотивного хозяйства, его адаптация к новым экономическим условиям является

важным направлением в процессе становления национальной транспортной политики на Украине.

В условиях всеобщего дефицита, уменьшения грузопотока, старения локомотивного парка и, как следствие, снижения уровня его эксплуатационной надежности перед работниками локомотивного хозяйства стоят сложные задачи обеспечения эффективной работы тягового подвижного состава (ТПС). Одним из основных направлений решения такой проблемы является улучшение технического содержания и использования ТПС, что в значительной степени достигается путем совершенствования методов расчета параметров системы технического содержания локомотивов, включая методы развития, использования и управления деповской ремонтной базой, обеспечивающие минимальные экономические издержки. Это нашло свое отражение в приказах Укрзалізниці №24Ц от 12.05.93 и №94Ц от 23.05.95.

Основной задачей системы технического содержания и использования локомотивов является обеспечение такой нормативной и информационной поддержки процессов эксплуатации и ремонта локомотивного парка, которая обеспечивала бы безусловное выполнение заданных объемов перевозок с минимальными затратами во всех сопутствующих сферах, включая: технологию проведения ТО и ТР; проектирование, использование и управление деповской ремонтной базой; формирование запасов узлов, агрегатов и деталей локомотивов для удовлетворения потребности в плановых и неплановых ремонтах (НР); систему цикличности и периодичности ТО и ТР и др.

Поэтому решение такой сложной проблемы, как совершенствование системы технического содержания локомотивов требует фундаментальных теоретических исследований и экспериментальных проверок, должно осуществляться с единых технико-экономических позиций и базироваться на применении экономико-математических методов, учитывающих стохастическую природу транспортных процессов. В условиях рыночных отношений вероятностные методы ЦОЙВОЛЯЮТ гораздо глубже вскрыть природу изучаемых процессов и явлений, исследовать их в динамике, совершенствовать процесс принятия решений в разных^ сферах, включая

вопросы перепрофилирования мал о деятельных депо и концентрации производства в других депо.

Исследования, направленные на совершенствование системы технического содержания локомотивов проводятся учеными МИИТа, ВНИИЖТа, ОмИИТа, ДИИТа, РИИЖТа. Более десяти лет такие исследования проводятся на кафедре "Эксплуатация и ремонт подвижного состава" ХарГАЗТ под руководством

■ ■

профессора Э.Д. Тартаковского. Данная работа является дальнейшим развитием исследований выполняемых на кафедре.

Система технического содержания локомотивов является сложным объектом, состоящим из отдельных подсистем. Каждая подсистема данной системы является в свою очередь достаточно сложной системой. Исследования, проведенные ранее учеными в данной области, в основном были направлены на оптимизацию отдельных подсистем. Предлагаемая работа отличается от ранее выполненных тем, что процесс совершенствования системы технического содержания локомотивов исследуется на основе комплексного рассмотрения поведения всей системы, в состав которой входят: локомотивный парк, выполняющий перевозочную работу; производственные комплексы, обеспечивающие поддержание локомотивов в технически исправном состоянии; материальные и трудовые ресурсы. Моделирование проводится с учетом изменения грузопотока.

С учетом изложенного целью настоящей диссертационной работы является: решение научно-технической проблемы улучшения технического состояния и использования локомотивного парка железных дорог Украины в современных экономических условиях путем совершенствования методов расчета и моделирования параметров системы технического содержания локомотивов, включая методы развития, использования и управления деповской ремонтной базой, обеспечивающие минимальные затраты.

Объектом исследования является система технического содержания и использования локомотивного парка. Предметом исследования являются методы расчета и моделирования параметров системы технического содержания локомотивов.

Методология исследования - исследование операций и моделирование на ПЭВМ. Методы исследования - теория вероятностей, математическая статистика, метод динамики средних, теория надежности, теория массового обслуживания, элементы теории множеств, вероятностные метрики.

Теоретическую ценность имеют:

- методика оценки устойчивости функционирования системы "локомотивный парк в распоряжении депо - участки ТО и ТР" в условиях переменного грузопотока;
- методика определения оптимальных межремонтных пробегов и периодов между ТО и ТР с выбором соответствующего перечня работ на каждом ТО и ТР при минимальных затратах;
- метод исследования качества функционирования ремонтных участков.

Практическую ценность имеют:

- программный комплекс для формирования рациональной системы цикличности и периодичности ТО и ТР; межремонтные пробеги и периоды, рассчитанные для локомотивов и МВПС, эксплуатирующихся на железных дорогах Украины;
- программный комплекс и номограммы для определения основных показателей производственной мощности участков ТО и ТР и ее резервов;
- зависимости изменения критерия качества управления в функции<sup>^</sup> определяющие экономически допустимые границы эффективного функционирования ремонтных участков;
- зависимости коэффициентов готовности, технического использования локомотивного парка и деповского процента неисправных локомотивов, определяющие зону устойчивого функционирования системы;
- алгоритм, программа для ПЭВМ и номограммы для определения оптимальных запасов узлов и агрегатов локомотивов; методика определения величины оптимальной партии для отправки узлов и агрегатов из депо на ремонтный завод с минимальными затратами в процессе формирования запасов

Основные положения работы, выводы и предположения не только теоретически и обоснованы путем использования современной методологии исследований. Основная статистическая информация собиралась с 1981г. по настоящее время на трех дорогах.

Эмпирические и теоретические данные имеют удовлетворительную сходимость. Адекватность модели проверена в терминах вероятностной метрики Леви-L, погрешность не превышает 5 - 7%.

Научную новизну имеют:

1. Динамическая модель для решения задачи обеспечения устойчивого функционирования системы "локомотивный парк в распоряжении депо - участки ТО и ТР" в условиях переменных грузо- и пассажиропотоков. При решении учитывались нелинейность и нестационарность исследуемых объектов.
2. Методика и программный комплекс для формирования рациональной системы цикличности и периодичности ТО и ТР локомотивов с определением перечня работ на ТО и ТР, которые при максимальной надежности обеспечивают минимум затрат, связанных с эксплуатацией и ремонтом локомотивов.
3. Экономико-математическая модель и комплекс программ для решения задач развития, эффективного использования и управления ремонтной базой при проведении ТО и ТР с минимальными экономическими издержками.
4. Алгоритм и программа для оценки сходимости аппроксимирующих и реальных моделей функционирования участков ТО и ТР в терминах вероятностной метрики Леви - L.
5. Методика и комплекс программ для расчета оптимальных размеров и моделирования процессов формирования оборотных запасов узлов и агрегатов локомотивов для бесперебойного выполнения ТО, ТР и НР с минимальными затратами.
6. Методика оценки влияния режимов работы участков ТО и ТР на величину коэффициента технического использования локомотивного парка. . Ф

Уровень реализации и внедрения научных разработок.

1. На основании методики и программного комплекса для определения рациональной цикличности и периодичности ТО и ТР и перечней работ:
  - рассчитаны межремонтные пробеги для всех серий локомотивов <и МВПС,<sub>x</sub> эксплуатирующихся на железных дорогах Украины, которые положеш>і Поснову приказа Укрзалізниці №187Ц "Про покращення технічного утримання та

використання тягового рухомого складу", введенного с 1.02.96 года взамен приказа №28Ц, что подтверждено актом внедрения. Методика и программный комплекс переданы в Укрзалізницю;

- сформированы комплекты технологической документации для проведения ТО и ТР локомотивам разных серий и переданы в депо Южной железной дороги.

2. На основании методики определения параметров производственной мощности участков ТО и ТР для локомотивных депо Южной ж.д. определены резервы стойловой части.

3. На основании методики определения оптимальных размеров страховых и технологических запасов рассчитаны запасы основных узлов и агрегатов локомотивов для ряда депо Южной ж.д.

4. На основании полученных зависимостей деповского процента неисправных локомотивов определена его величина, заложенная в приказе №187Ц.

5. Разработанные методики и программы используются в учебном процессе ХарГАЖТ в дисциплинах "Математические модели локомотивов в расчетах на ЭВМ", "Эксплуатация и локомотивное хозяйство", в курсовом и дипломном проектировании, на ФПК.

Апробация и публикация результатов научного исследования. Основные положения и результаты диссертационной работы доложены на научно-техническом семинаре кафедры "Локомотивы" МИИТа, Москва, 1987 г.; на технических советах службы локомотивного хозяйства Южной ж.д., Харьков, 1986, 1989 г.г.; на научно-технических конференциях и семинарах кафедры "Эксплуатация и ремонт подвижного состава" ХарГАЖТ, Харьков, 1987 - 1996 г.г.; в производственном управлении Главного управления локомотивного хозяйства Укрзалізниці, Киев, 1994г.; на заседании научно-методической комиссии заведующих кафедр по специальности "Локомотивы", Харьков, 1994 г.

По теме диссертации опубликовано более 40 печатных работ и более 20 научно-технических отчетов. Объем и структура работы; Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованных литературных источников, включающих 210 наименований, приложения.

В ходе выполнения работы лично автором получены следующие научные результаты, которые выносятся на защиту:

1. Динамическая модель локомотивного парка депо, адаптированная к современным экономическим условиям в стране и отражающая степень сбалансированности мощности ремонтной базы с потоком локомотивов, поступающих из эксплуатации на ТОиТР.
2. Принцип оценки устойчивости функционирования системы "локомотивный парк в распоряжении депо - участки ТО и ТР", основанный на полученных закономерностях изменения коэффициента готовности и технического использования локомотивного парка, а также деповского процента неисправных локомотивов.
3. Экономико-математическая модель и программный комплекс, учитывающие стохастическую природу транспортных процессов, для моделирования показателей мощности ремонтных участков ТО и ТР и ее резервов, для принятия решений о способах развития, управления и использования деповской ремонтной базы.
4. Алгоритм для оценки сходимости реальных и аппроксимирующих моделей в терминах вероятностной метрики Леви-L.
5. Принцип оценки качества функционирования участков ТО и ТР, основанный на анализе полученных закономерностей изменения критерия качества управления.
6. Модель процесса формирования оптимальных размеров страховых запасов узлов и агрегатов локомотивов для проведения ТО, ТР и НР с минимальными затратами.
7. Метод исследования влияния режима работы участков ТО и ТР на устойчивость функционирования системы "локомотивный парк в распоряжении депо - участки ТО и ТР".
8. Методика формирования рациональной системы цикличности и периодичности ТО и ТР локомотивов, определяющая глубину технического воздействия на каждом ТО и ТР, обеспечивающая минимальные затраты на эксплуатацию и проведение ТО и ТР при необходимом уровне надежности.

# 1. СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО СОДЕРЖАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛОКОМОТИВОВ

## 1.1, Анализ системы технического содержания локомотивов в стране и за рубежом

Система технического содержания и использования локомотивного парка представляет собой организационно сложную систему, которая характеризуется методами нормирования парка локомотивов, организацией работы локомотивных бригад, ремонтной базой и способами управления ею, уровнем организации ремонтных работ, количеством и квалификацией ремонтного персонала, условиями их работы, объемами ремонтов и осмотров, цикличностью и периодичностью ТО, ТР и КР, продолжительностью и качеством выполнения ремонтных операций, уровнем технологической подготовки производства, степенью механизации и автоматизации ремонтных работ, внедрением методов и средств диагностики, размерами и методами формирования страховых и технологических запасов узлов, деталей и материалов, совокупностью нормативных количественных показателей и др.

При этом система технического обслуживания и ремонта (ТОР), основными показателями которой являются - межремонтные пробеги, объемы ремонтов и осмотров, продолжительность их выполнения, является составной частью системы технического содержания и использования тягового подвижного состава (ТПС). Основой системы ТОР локомотивов является система планово-предупредительных ремонтов (ППР).

Разработанная и внедренная система ППР, явилась важнейшим прогрессивным мероприятием, способствующим повышению долговечности оборудования. Система ППР выдержала испытания временем и за период почти 60-летнего (существования показала свои преимущества перед другими: системой по-у' слеосмотровых ремонтов, системой стандартных ремонтов и другими'[ /

Основными положениями системы ППР являются [ 4 ]: /

1. Ремонт оборудования производится через равные, заранее планируемые промежутки времени или наработки (межремонтные периоды). Эти периодические ремонты составляют основной объем ремонтных работ по восстановлению работоспособности оборудования.

2. Периоды времени (наработки) до капитального ремонта, являются ремонтным циклом. В начале каждого цикла машина, станок, локомотив и т.п. должны отвечать всем требованиям, которые предъявляются к новому оборудованию.

3. Длительность межремонтного периода является одной из\* основных характеристик ремонтного цикла и устанавливается в зависимости от назначения, конструкции и условий работы оборудования.

4. Помимо периодических ремонтов предусматриваются межремонтные обслуживания машин и оборудования, при которых, кроме профилактических мероприятий (смазка, уборка и др.) производятся малотрудоемкий ремонт, ремонт некоторых быстроизнашивающихся деталей, регулировка механизмов.

5. Системой ППР нормируются также осмотры и проверки узлов оборудования для выявления состояния и уточнения объема ремонтных работ.

Глубокий смысл, заложенный в этих положениях системы ППР, заключается в том, что установление постоянной структуры ремонтного цикла, сохранение средних соотношений объемов ремонтных работ между отдельными видами ремонта дают возможность планирования ремонтов, производить расчеты затрат рабочей силы, оборудования, времени, запасных частей и материалов, необходимых для ремонта.

С другой стороны, система ППР предусматривает необходимость учета специфики устройства и условий эксплуатации различного оборудования за счет установления различных межремонтных периодов и объемов ремонтных работ.

Важнейшим преимуществом системы ППР является то, что она осуществляет целый комплекс профилактических мероприятий, не допускающих возникновения катастрофического износа.

За десятилетия эксплуатации паровозов был накоплен огромный опыт, в соответствии с которым осуществлялось их техническое содержание, обеспечивающее достаточный для того времени уровень надежности транспорта. С переходом на новые, более современные и совершенные виды Тяги - электровозы и тепловозы -

многие положения, определяющие систему технического содержания и использования новых локомотивов, были сформулированы по аналогии с системой технического содержания паровозов: сосредоточение ремонтной базы в крупных технически оснащенных депо; обслуживание поездов на коротких тяговых плечах; обслуживание локомотивов прикрепленными бригадами; сравнительно небольшие межремонтные пробеги. В дальнейшем, по мере накопления опыта их эксплуатации и ремонта, а также развития ремонтной базы, совершенствовалась и система их технического содержания и использования.

Система технического содержания и использования локомотивов базируется на совокупности технико-экономических положений, определенных в соответствующих руководящих приказах.

Начиная с 1938 г., основываясь на статистических данных, НКПС впервые устанавливает периодичность отдельных видов ремонта электровозов в интервале их работы между двумя капитальными ремонтами. При этом была установлена единая норма пробега между капитальными ремонтами, но пробеги между средними и подъемочными ремонтами дифференцировались в зависимости от профиля участков.

Дальнейшее изменение норм межремонтных пробегов электровозов имело тенденцию к увеличению. Это нашло отражение в приказе НКПС №562 (1940 г.) и приказах МПС №771 ЦЭ (1949 г.), №89Ц (1955 г.), №48Ц (1959 г.), №46 Ц (1961 г.), №17 Ц (1970 г.).

В период с 1945 по 1955 г.г. отмечается значительное развитие отечественного тепловозостроения, перевод многих участков железных дорог на дизельную тягу, установление плано-предупредительной системы ремонта, улучшение организации ремонта и усиление ремонтной базы тепловозов. В 1955 г. в соответствии с приказом 89Ц введена система ППР тепловозов, при котором главнейшие узлы локомотива осматриваются и ремонтируются в строго установленные сроки с производством определенного объема работ. Однако в этот период при эксплуатации тепловозов недостаточно внимания уделялось контролю за состоянием оборудования и своевременному выполнению работ профилактического характера.

на замену или ремонт преждевременно вышедших из строя деталей и узлов, ненормальный износ или поломку которых можно было предупредить.

Период с 1956 по 1961 г.г. характеризуется приближением системы технического содержания и использования тепловозов к требованиям конкретных условий их работы, введением новых методов эксплуатации, созданием высокопроизводительного технологического оборудования и ремонтных предприятий.

В 1957 г. была установлена новая система технического содержания и использования тепловозов, принципиальные положения которой были положены в основу мероприятий по переводу тепловозов на обслуживание сменными локомотивными бригадами. В системе ремонта особое внимание было обращено на качество и своевременность проведения контрольных операций и профилактических работ.

Однако в этой системе остался существенный недостаток: нормы межремонтной работы тепловозов для всех депо и железных дорог устанавливались средними, независимо от условий эксплуатации и интенсивности использования тепловозов. Начиная с 1962 г. система технического содержания и использования тепловозов характеризуется попытками дифференцировать и оптимизировать цикличность и периодичность осмотров и ремонтов, сделать систему ТОР более гибкой, учитывающей условия эксплуатации и интенсивность использования тепловозов на различных участках полигона тепловозной тяги. Анализ приказов, регламентирующих цикличность и периодичность осмотров и ремонтов - V № 46Ц (1961г.), №17Ц (1970г.), №22Ц (1975г.), приводит к выводу, что нормы межремонтных пробегов и сроков работы тепловозов увеличивались.

Вообще, анализ систем технического содержания и использования локомотивов в период с 1940 г. по настоящее время, определяемых соответствующими руководящими приказами, показывает, что вплоть до 1975 года сохранилась тенденция к увеличению межремонтных пробегов и периодов. Это объясняется совершенствованием конструкции локомотивов, повышением ресурса соответствующего Оборудования, внедрением прогрессивной технологии при проведении обслуживания и ремонтов, применением станков для обточки бандажей и выкатки колесных пар из-под локомотива, улучшением эксплуатации, распространением опыта передовых депо, применением индустриальных методов ремонта.

Однако, начиная с 1975г. пробеги до одноименных ремонтов локомотивов практически не увеличились, хотя с тех пор соответствующие руководящие приказы неоднократно издавались (1975г., 1981 г., 1986г.). Это свидетельствует об исчерпании ресурса соответствующего лимитирующего оборудования локомотивов.

Система технического содержания и использования железнодорожного подвижного состава призвана обеспечить его работоспособное состояние с наименьшими затратами трудовых, материальных и финансовых ресурсов. Поэтому дальнейшее совершенствование системы должно быть направлено по пути более эффективного использования локомотивного парка и уменьшения экономических издержек при проведении технических обслуживаний (ТО) и текущих ремонтов (ТР), а также сопутствующих им процессов при поддержании необходимого уровня эксплуатационной надежности ТПС.

Определенные шаги в этом направлении нашли свое отражение в приказе №28Ц (1986 г.) действовавший на Украине вплоть до 1 февраля 1956 года. В этом приказе большое внимание уделяется обеспечению высокоэффективного использования локомотивов и рабочего времени локомотивных бригад путем внедрения автоматизированных систем управления локомотивным парком, оперативного нормирования и регулирования локомотивными парками и локомотивными бригадами, совершенствования работы диспетчерского аппарата.

В приказе №28Ц были также предусмотрены мероприятия по повышению качества и совершенствованию организации ремонтных процессов в локомотивном депо. В частности, официально предусмотрено выделить производственные площади и специализированные ремонтные бригады по устранению последствий отказов ТПС в межремонтные периоды (неплановые ремонты), организовать участки по ремонту и диагностике электронных устройств, предусмотреть применение поточной организации труда с механизацией и автоматизацией производственных процессов, создать неснижаемый запас деталей, узлов и материалов для бесперебойного выполнения ТО и ТР.

Подряд объективных причин транспортный процесс, включая процессы проведения ТО и ТР, следует отнести к процессам, подчиняющимся стохастическим закономерностям. Основные из них: неравномерность транспортного потока, неодинаковое время выполнения однотипных операций, случайный характер отка-

зов локомотивов, техническое состояние локомотивов, квалификация исполнителей, неравномерность подвода локомотивов на ТО и ТР из эксплуатации. Однако существующие методы расчета параметров системы технического содержания и использования локомотивов являются в основном детерминированными, что приводит подчас к значительным просчетам и погрешностям. Так, согласно [5] годовые программы ТО-3 и ТР-1 поездных локомотивов определяются по формулам:

$$M_{\text{ТО-3}} = \frac{E_{\text{MSoom}} \cdot T_{\text{ж,г}} \cdot \Gamma_{\text{ГОД}} \wedge \wedge \Gamma_{\text{ГОД}} \wedge \wedge \Gamma_{\text{ГОД}} \cdot \mathcal{J} \wedge 10 \text{Д}}{L_{\text{ТО-3}}} \cdot (M_{\text{КР-2}} + M_{\text{КР-1}} + M_{\text{ТР-3}} + M_{\text{ТР-2}} + M_{\text{ТР-1}})$$

$$M_{\text{ТР-1}} = \frac{M_{\text{So6}} \cdot (M_{\text{км}} + M_{\text{ю4}} + M_{\text{тр-3}} + M_{\text{тм}})}{L_{\text{ТР-1}}}$$

где  $M_{\text{общ}}$  - годовой пробег локомотивов (по сериям и роду службы) в границах участков их обращения;

$L_{\text{ТО-3}}$ ,  $L_{\text{ТР-1}}$  - нормы пробегов соответственно между ТО-3 и ТР-1;  $M_{\text{КР-2}}$ ,  $M_{\text{КР-1}}$ ,  $M_{\text{ТР-3}}$ ,  $M_{\text{ТР-2}}$ ,  $M_{\text{ТР-1}}$  - годовая программа ремонтов соответственно для КР-2, КР-1, ТР-3, ТР-2, ТР-1 и ТО-3.

Анализируя вышеперечисленные выражения, необходимо отметить, что действительная величина пробегов между ТО-3 и ТР-1 значительно колеблется относительно нормы, что подтверждается результатами наблюдений, приведенными в [6,7,8]. Как известно [5], месячный и декадный график постановки локомотивов на ТО-3 и ТР-1 составляется на основании годовой программы техобслуживания и ремонта за 10-15 суток до начала планируемого месяца с учетом выполнения локомотивами нормы межремонтных пробегов. Таким образом, годовые, а следовательно и месячные программы ТО-3 и ТР-1 определяются заведомо с точностью до коэффициента неравномерности.

Существующие методы определения производственной мощности ремонтной базы локомотивов, а также необходимого числа стойл также являются детерминированными. Согласно [5] при стационарном методе ремонта необходимое число ремонтных позиций для проведения ТО-3 и ТР-1 в депо определяется следующим формулам:

<

$$A_{тО-3} = M_{тО-3} \cdot t_{jО-3} \cdot \Pi_{тО-3} / (D^{\text{год}} \cdot \text{Лем} \cdot \text{tow})$$

$$A_{тР-1} = M_{тР-1} \cdot t_{jР-1} \cdot \Pi_{тР-1} / (D^{\text{год}} \cdot \text{Псм} \cdot \text{лсм}),$$

где -  $t_{jО-3}$ ,  $t_{jР-1}$  - время занятости позиций, ч;

$t_{см}$  - продолжительность рабочей смены;

$\text{Псм}$  - число рабочих смен;

$D^{\text{год}}$  - количество рабочих смен в году;

$\Pi_{тО-3}$ ,  $\Pi_{тР-1}$  - коэффициенты, учитывающие неравномерность постановки локомотивов на стойло, принимаемые равными 1,10 ... 1,20.

Таким образом, в анализируемых формулах неравномерность в подходе локомотивов учитывается только посредством увеличивающих коэффициентов и во все не учитывается неравномерность при обслуживании и ремонте, а также наличие unplanned ремонтов (НР). Согласно исследованиям ВНИИЖТа [9] наблюдаются значительные колебания в бюджете времени нахождения единичного локомотива на ТО-3 и ТР-1. В отдельных случаях эта разница может достигать 20 и ТР-1, нерегулярность постановки в ремонт каждого конкретного локомотива, следует при проектировании депо и особенно при их реконструкции для расчета реальной производственной мощности участков ТО-3, ТР-1 и unplanned ремонтов, выявления ее резервов и рационального их использования, помимо традиционных детерминированных методов учитывать вероятностные аспекты. Именно вероятностные методы проектирования и управления объектами локомотивного хозяйства открывают путь экономико-математическим методам определения оптимального количества стойл и резервов производственных мощностей для выполнения плановых видов ТО-3 и ТР-1 при неравномерном во времени обслуживании и обслуживании поездных локомотивов, а также для производства unplanned ремонтов, осуществляемых по случайной стратегии.

Исключительно детерминированными являются также методы определения величины страховых запасов узлов и агрегатов локомотивов. Так страховой запас  $\Pi_{стр}$  рассчитывается по формуле [5]

$$P_9^{,r}$$

где  $a$  - коэффициент сменяемости необходимых для неплановых ремонтов агрегатов (узлов, деталей), не подлежащих восстановлению или требующих для ремонта повышенного времени;

$\Pi_a$  - число однотипных агрегатов на локомотиве;

$M_p$  - число одновременно параллельно ремонтируемых локомотивов;

$t_3$  - время отсутствия агрегата на локомотиве по графику технологического процесса;

$T_p^r$  - фонд времени за расчетный период.

$$a = (Y/\Pi_a * M_p,$$

где  $CT$  - число замененных однотипных агрегатов (узлов, деталей) за расчетный период.

Однако, процесс востребования страхового запаса носит чисто стохастический характер. Важным направлением в поисках резервов экономии материальных и финансовых ресурсов является также осмысление и исследование самого процесса формирования оборотных запасов узлов, агрегатов и деталей в депо с учетом стохастических условий.

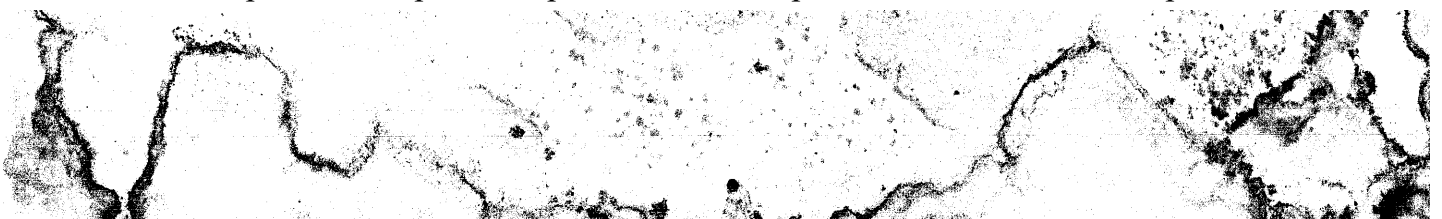
В настоящее время при оперативном планировании поездной работой на дорогах сети практически используется ряд детерминированных способов нормирования парков локомотивов.

На Южной ж.д. эксплуатируемый парк локомотивов для каждого вида тяги определяется, исходя из производительности локомотива  $W_i$  и планируемого пробега поездов  $(SnS)_{an}$ . При этом в основу расчета положена следующая зависимость:

$$\text{экспл} - \sum_{i=1}^n y (EnS) n n i$$

$$i=i W_i$$

При таком способе нормирования локомотивного парка необходимо определить количество вагоно-километров на каждые планируемые сутки. Следовательно, погрешность при планировании объема работы в вагоно-километрах



лучшем случае будет равна погрешности прогнозируемых размеров движения. Кроме того, производительность локомотива не является в течении месяца постоянной величиной. Расчеты показывают, что практически она колеблется в пределах  $\pm 8-10\%$ . Вместе с тем корректировка производительности локомотивов

в зависимости от оперативной обстановки представляется очень сложной и практически трудно осуществимой задачей. В целом рассматриваемый способ нормирования эксплуатируемого парка локомотивов дает погрешность  $\pm 15-17\%$  [10]. Известен также метод расчета эксплуатируемого парка по среднесуточному пробегу локомотивов. При этом способе расчета используется следующая зависимость:

$$M_{\text{экспл}} = \frac{E(MS)_{\text{ПЛ}}}{8\text{л}}$$

где  $E(MS)_{\text{ПЛ}}$  - общий планируемый пробег локомотивов.

Как и предыдущий, этот способ требует предварительного определения ожидаемых размеров движения, которые необходимы для расчета общего планируемого пробега локомотивов. С другой стороны, среднесуточный пробег локомотивов является переменной величиной. Поэтому данный способ имеет недостатки, которые были отмечены в способе расчета по производительности локомотива.

Одним из направлений экономии материальных, финансовых и трудовых ресурсов является также совершенствование методов управления системой технического содержания и использования локомотивов. На железнодорожном транспорте в течение длительного времени основное внимание уделялось поиску более совершенных методов организации ремонтного производства, труда локомотивных и ремонтных бригад. Вопросам же управления процессом эксплуатации и ремонта не уделялось необходимого внимания.

Оценка качества управления строится на критериях качества, учитывающих численные показатели. Следовательно возникает необходимость в развитии формализма представления знаний до уровня учета численных показателей, отражающих процесс динамического хода событий...

Обзор зарубежной литературы [11,12] свидетельствует о том, что практически во всем мире основой системы технического содержания и использования локомотивов является планово-предупредительный принцип.

В настоящее время система технического содержания и использования локомотивов становится все более гибкой и как показывает отечественная и зарубежная практика [13,14,15] в большей степени отвечает требованиям поддержания локомотивов в работоспособном состоянии. Сроки ремонтов ТПС варьируются и различаются в разных условиях эксплуатации. Одним из основных направлений совершенствования системы в развитых капиталистических странах является комплексное применение диагностики и вычислительной техники. Так, на железных дорогах Европы и США созданы управляющие автоматизированные системы по ремонту и эксплуатации локомотивов, комплексного применения устройств, технической диагностики, позволяющей дифференцировать сроки выполнения ремонтов. В условиях жесткой конкуренции на железных дорогах США стремятся максимально экономично использовать локомотивы при минимальных издержках, что возможно при рационально выбранной системе их технического содержания и использования.

На основании результатов постоянно проводимых работ по повышению ресурса узлов и агрегатов локомотивов увеличиваются сроки между осмотрами и ремонтами. Так, в США периодичность осмотров вида P2 первоначально равнялась 15 суткам, а затем по мере увеличения надежности узлов и совершенствований технологии ремонта она была увеличена до 90-92 суток. Для обеспечения ритмичности проведения ремонтов и осмотров производят корректировку полняемых работ. Так, одну часть работ выполняют на четных осмотрах (ремонтах), а другую - на нечетных.

Система текущих ремонтов включает также промежуточные работы. Так, периодичность этих ремонтов тепловозов, включающих в себя операции по цилиндро-поршневой группе дизелей, зависит от их мощности. Работы же по остальным агрегатам и узлам выполняются по мере необходимости. Межремонтные сроки дифференцируются в зависимости от условий эксплуатации\* „

В Великобритании в результате создания узлов и агрегатов, обладающих высокой надежностью, проведено исследование по обоснованию системы планово-

предупредительных ремонтов  $I$  исходя из возрастания интенсивности отказов. В противном случае целесообразным считается выполнение unplanned ремонтов, т.е. осуществляется ремонт "по состоянию". В этом случае при сохранении принципа кратности межремонтных пробегов дифференцируются объемы ремонтных работ в зависимости от скорости увеличения числа отказов соответствующего оборудования локомотивов.

Подобные исследования проводятся также в Венгрии и Японии. В настоящее время в Венгрии реализуется гибкая система планово-предупредительных ремонтов, в которой сроки проведения ремонтов зависят от степени износа лимитирующих узлов и деталей.

В ФРГ проводят научные исследования по определению соответствия сроков проведения плановых ремонтов ресурсам лимитирующих узлов локомотивов с целью увеличения их межремонтных пробегов. Основной задачей рациональной системы технического содержания и использования локомотивов является снижение затрат на ремонты.

Безотказность локомотивов в эксплуатации в значительной степени зависит также от организации процесса ремонта, совершенствовании технологии восстановления работоспособности оборудования, механизации и автоматизации ремонтного производства. В последние годы на локомотиворемонтных заводах и депо железных дорог Европы и США используют элементы передовой технологии на основе гибких производственных систем, роботов и манипуляторов. '

Наиболее успешно роботизация используется при производстве запасных частей. Производство запасных частей в достаточном количестве и необходимо в номенклатуре, доставка их заказчикам является важным элементом системы технического содержания и использования локомотивов. Зарубежные фирмы считают это экономически целесообразным, так как цены на запасные детали и узлы более высокие по сравнению с аналогичными, но установленными в процессе сборки нового локомотива.

Большое значение для повышения эффективности системы технического содержания и использования локомотивов имеет совершенствование управления ею, Об этом свидетельствует опыт создания информационно-управляющих систем, которые в настоящее время широко применяются за рубежом. Задача повышения

надежности и готовности локомотивов, снижения эксплуатационных расходов решается путем совершенствования системы технического содержания и использования локомотивов на основе сбора, систематизации, обработки и анализа больших объемов информации о техническом состоянии локомотивов и ремонтной базы. Этот процесс возможен только на основе использования средств технической диагностики и вычислительной техники.

Большой опыт в области применения ЭВМ, создания и использования банков данных накоплен дорогами США. На основе информации, поступившей из ремонтных мастерских и станций, готовятся статистические отчеты, включающие в себя информацию ремонтного и эксплуатационного характера, отражающие эффективность работы мастерских. Ремонтная информация заносится в специальные формы и включает в себя данные о причине нахождения локомотива в мастерских, продолжительность простоя, обнаруженных дефектах, методе восстановления и т.п. На основе информации, содержащейся в формах, определяются сроки службы деталей и узлов, наиболее часто встречающиеся причины отказов, оценивается эффективность изменения конструкции, технология ремонта узла, эффективность мероприятий по совершенствованию системы технического содержания и использования локомотивов.

Учитывая, что основным направлением совершенствования системы технического содержания локомотивов является уменьшение затрат на технические обслуживание и ремонты, в Германии в настоящее время проводятся реформы всего ремонтного хозяйства. В ходе модернизации государственных железных дорог, в Германии образовались большие избыточные мощности по персоналу и оборудованию заводов и депо [16]. Ситуация дополнительно обострилась значительным снижением объема перевозок, особенно грузовых. При такой ситуации намечены и проводятся энергичные мероприятия по обновлению всего ремонтного хозяйства. Ремонтные заводы и депо в силу изменения стратегии технического обслуживания должны рассматриваться как звенья единой цепи. Эти изменения должны выразиться, с одной стороны, в ускоренной замене подвижного состава.

\* .А  
вследствие введения укороченного срока службы, с другой стороны, в принятии необходимых решений в области инвестиционной и кадровой политики на заво-

дах и в депо разработана общая концепция перспективного положения о предприятиях по ремонту подвижного состава, основная цель которой - оптимизация технического обслуживания подвижного состава. В частности, это означает повышение надежности и эксплуатационной готовности подвижного состава, а также значительное снижение расходов на его техническое обслуживание.

При этом высокая эксплуатационная готовность подвижного состава должна достигаться как за счет удобного расположения ремонтных предприятий, так и в результате снижения времени простоев на них. Расходы на технические обслуживания должны быть снижены как по прямым, так и по накладным расходам, т.е. путем рационализации производства и уменьшения рабочих часов с одной стороны, и списанием устаревшего оборудования и уменьшения непроизводительных расходов с другой.

Планово-предупредительные работы остаются основой стратегии технического обслуживания. Плановые работы подразделяются на небольшие по объему, но часто проводимые операции в депо, регламентные работы и большие ремонты, проводимые на ремонтных заводах. В зависимости от пробега подвижной состав прибывает на ремонтные заводы после 2-8 лет эксплуатации. К этому добавляются еще и внеплановые заходы, число которых в последние годы постоянно растет вследствие возрастания интервалов между плановыми осмотрами и ремонтами.

Таким образом, общая концепция оптимизации технического обслуживания подвижного состава и оздоровления ремонтной базы в Германии основывается на привлечении капиталовложений, концентрации рабочих мест, ликвидации избыточных мощностей, рациональным географическим расположением заводов в депо, вместе с необходимыми мерами по реорганизации предприятий. Важно значение имеет высокая степень использования оборудования за счет многосменного режима работы, применения гибкого планирования рабочих смен, и использования информационной системы службы тяги (ZIS) для оперативного планирования и управления эксплуатационными и ремонтными работами. Эти мероприятия должны способствовать сокращению численности персонала и всех видов затрат.

Развитие рыночной реформы на транспорте со всей очевидностью показывает необходимость серьезной проработкой ключевых вопросов национальной тран-

спортной политики на Украине, причем не только в экономическом, но и во всех других измерениях - геополитическом, социальном, региональном, организационно-управленческом, научно-техническом.

Улучшение системы технического содержания и использования локомотивов и моторвагонного подвижного состава на железных дорогах Украины путем совершенствования методов расчета ее параметров является важным направлением в процессе становления национальной транспортной политики. Возникает необходимость создания теоретической базы, на основании которой возможно перейти от традиционных детерминированных подходов при формировании и управлении системой технического содержания локомотивов к методам, учитывающим стохастические особенности функционирования транспортных систем. В условиях нестабильности экономики, падения грузопотока вероятностные методы позволяют гораздо глубже вскрыть природу изучаемых процессов, исследовать их в динамике, совершенствовать принятие управленческих решений.

На качество принимаемых решений на уровне Укрзалізниці, управления дорог, депо влияют различные факторы, основными из которых являются:

- значительная степень неопределенности процессов, протекающих на транспорте (колебания грузо- и пассажиропотоков, неравномерный подход локомотивов из эксплуатации, различие в техническом состоянии локомотивов и т.д.);
- отсутствие единых экономико-технологических моделей функционирования управляемых подразделений, учитывающих наличие неопределенности;
- имеющие место противоречия между оперативной, учетной и отчетной технико-экономической информацией;
- невозможность оценки качества принимаемых решений и их влияние на процесс эксплуатации и ремонта локомотивов.

Процесс принятия решений на разных уровнях предполагает осмысление поступающих информационных сообщений на уровне вариативного и конструктивного осмысления: действия руководства должны быть избирательны и эффективны в пространстве альтернатив. Существующие способы и методы в лучшем случае позволяют осмыслить ситуацию нормативно (на уровне регламентирующих технических решений является личный опыт и интуиция руководства. Для облег-

й

ж

чения вариативного осмысления необходимо обеспечить более высокий уровень обработки информации. Необходимо утвердить новый стиль обработки информации на основе человеко-машинных отношений путем дальнейшего развития автоматизированных рабочих мест (АРМов) в направлении интеллектуализации, т.е. придания им свойств экспертных систем [7X]

з

К наиболее действенным мерам технологического характера в настоящее время следует отнести внедрение средств диагностики в систему технического содержания ТПС. Это должно совмещаться с внедрением новых ремонтных технологий. Средства диагностики позволяют определить состояние узлов локомотивов без затрат на их разборку и сборку, сокращать время поиска дефектов, предупреждать отказы в пути следования, контролировать состояние оборудования локомотивов.

На первом этапе применения диагностических устройств в депо следует сохранить планово-предупредительную систему ремонта ТПС. При этом эффект будет достигаться за счет предупреждения порч и unplanned ремонтов локомотивов, сокращения затрат труда на плановые осмотры и ремонты их отдельных узлов. Диагностика позволит оперативно выработать рекомендации об индивидуальных объемах ремонта для каждого конкретного локомотива с учетом его действительного технического состояния.

В период спада объема перевозок следует обеспечить формирование соответствующей рациональной структуры локомотивного парка. В частности, целесообразно увеличить относительный объем работы локомотивов, имеющих улучшенные энергетические показатели, и сократить занятость локомотивов с пониженным уровнем экономичности, ограничить использование грузовых локомотивов в пассажирском движении.

С целью обеспечения рационального соотношения между технико-технологическими параметрами ремонтной базы и объемами выполняемых перевозок необходимо разрабатывать теоретические методы для принятия экономически обоснованных решений по улучшению использования технологической оснастки в мало деятельных депо, созданию, специализированных цехов для выполнения капитальных ремонтов отдельных агрегатов и локомотивов в целом силами дорог, восстановления изношенных деталей. Одним из\* факторов, сдвер-



шенствования организации содержания ТПС является также закрепление бригад слесарей за конкретными группами локомотивов и моторвагонного подвижного состава. Еще не исчерпана возможность и в закреплении локомотивных бригад за локомотивами. В условиях сокращения размеров движения при известном резерве парка такой способ обслуживания ТПС позволяет вдвое снизить уровень его повреждаемости в эксплуатации [18].

Таким образом, задачи сегодняшнего дня настоятельно требуют создания такой теоретической базы, которая давала бы возможность с единых методологических позиций решать проблему совершенствования системы технического содержания и использования локомотивов, т.е. обеспечить экономическую и технологическую обоснованность проработки и внедрения указанных выше мероприятий.

## 1.2. Обзор работ по оптимизации систем технического содержания транспортных средств и постановка задачи

Исследование и формирование систем технического содержания на основе использования вероятностных методов уже нашли широкое распространение на автомобильном и авиационном транспорте, на морском и речном флоте, для сельскохозяйственной техники и городского транспорта как у нас в стране, так и за рубежом [19-40]. Автомобильный транспорт имеет большие традиции в исследованиях, связанных с вопросами проектирования и управления автотранспортными предприятиями (АТП), которые базируются на использовании теории вероятности, методов исследования операций и экономико-математических методов [19-32].

Так в [19] экономико-математические методы и модели применяются при планировании и организации технического обслуживания и ремонта автомобилей. Потребность в капитальных ремонтах автомобилей определяется с учетом законов распределений:

- автомобилей по пробегу с начала эксплуатации в начале планируемого периода.

- межремонтных периодов;
- годовых пробегов автомобилей.

В результате число капитальных ремонтов  $N_k$  находится из выражения:

$$N_k = \sum_{i=1}^n A_{сп i} \frac{\Phi\left(\frac{\bar{l}_{oi} + \bar{l}_r - \bar{l}_k}{\sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_k^2}}\right) - \Phi\left(\frac{\bar{l}_{oi} - \bar{l}_k}{\sigma_k}\right)}{1 - \Phi\left(\frac{\bar{l}_{oi} - \bar{l}_k}{\sigma_k}\right)}$$

где  $n$  - число разрядов распределения автомобилей в парке по пробегу с начала эксплуатации;

$i$  - порядковый номер разряда распределения автомобилей в парке по пробегу с начала эксплуатации;

$A_{сп i}$  - списочное количество автомобилей в  $i$ -том разряде распределения;

$\Phi$  - функция Лапласа;

$\bar{l}_{oi}$  - математическое ожидание пробега автомобилей с начала эксплуатации в  $i$ -том разряде распределения;

$k$  - математическое ожидание годового пробега автомобилей;

$\bar{l}_k$  - математическое ожидание пробега автомобилей до капитального ремонта;

$(\sigma_r)$  - среднее квадратическое отклонение годового пробега автомобилей;

$(\sigma_k)$  - среднее квадратическое отклонение пробега автомобилей до капитального ремонта. ®

Приведенная формула в отличие от детерминированных расчетов позволяет (■) принимать во внимание при расчете распределения автомобилей в парке (Жо про- $\Gamma$  « $^4$  'W' ■

бегу с начала эксплуатации, а также учитывать не только средние значения годового пробега  $\bar{l}_r$  и межремонтного периода  $\bar{l}_k$ , но и рассеивание их значений для  $d$  • \* fr

отдельных автомобилей, которое определяется средними квадратическими отклфЦ \*

числами  $(N_r)$  и  $(N_k)$

/ ч

Количество постов текущего ремонта автомобилей определяется в [12] с помощью аппарата теории массового обслуживания (ТМО). При этом рассматри- $\wedge$

ваются разомкнутые и замкнутые системы массового обслуживания с простейшими входными и обслуживающими потоками автомобилей. Методы оптимизации оборотных фондов автомобильных агрегатов разработаны с учетом стохастической природы процессов, протекающих в АТП.

Значительный интерес представляет работа М.Н. Бедняка [22], в которой автор провел теоретическое обоснование различных стратегий планово-предупредительной системы, исходя из требований надежности и управления автотранспортом. Согласно [22] АТП как организация включает в себя: выбор и обоснование оптимальной производственно-технической базы, которая обеспечивала бы заданный уровень эффективности функционирования; выбор и обоснование технологической схемы и организационной структуры, которая обеспечила бы наилучшую производительность труда производственного персонала; оптимальное распределение материальных ресурсов. Однако, какие бы не были оптимальные варианты организации на стадии проектирования, они не могут обеспечить наиболее эффективного функционирования системы во времени. Это объясняется тем, что внешние факторы в каждый конкретный момент времени являются случайными состояниями. Поэтому регулирование и контроль за ходом производственного процесса осуществляет функция управления и связи, причем управление должно обеспечить наиболее эффективное функционирование автотранспортного предприятия.

С целью обеспечения таких эффективных методов проектирования и управления в [22] предложен ряд аналитических моделей производственных процессов на автомобильном транспорте, использующих понятие марковских случайных процессов. По результатам моделирования проведена оптимизация процессов технологического обслуживания и ремонта автомобилей для различных стратегий и определение условий, при которых одна стратегия предпочтительней другой.

В [24] на основании результатов расчета производственной программы технического обслуживания автомобилей с помощью аппарата теории массового обслуживания произведен выбор метода организации ТО-1 и ТО-2.

А.П. Дунаевым [25] предложена методика расчета различных вариантов организации диагностики при проведении технического обслуживания и ремонта автомобилей в АТП, которая учитывает неравномерный подход и обслуживание

автомобилей. В качестве модели выбрана СМО с ожиданием, с неограниченным потоком требований, с конечным числом обслуживающих постов, однофазная, многоканальная, с неупорядоченным обслуживанием. Основной целью моделирования является выявление оптимальной формы организации диагностики для АТП различных мощностей.

1 .С. Кузнецовым в [28] проведено исследование законов распределения фактической периодичности и продолжительности операций технического обслуживания и ремонта для разных типов автомобилей.

В [29] этим же автором предложено для расчета производственных помещений, оборудования, штата рабочих на постах и участках по обслуживанию автомобилей использовать понятие марковских случайных процессов. Применительно к технической эксплуатации автомобилей наибольшее распространение получили замкнутые и открытые, одно- и многоканальные СМО, с однотипными или специализированными обслуживающими аппаратами, с одно- или многофазным обслуживанием, без потерь или с ограничением на длину очереди, или времени нахождения на ней.

шино-тракторного парка, а также оптимизации структуры средств обслуживания и выбор рациональной загрузки средств непланового ремонта приведены в [39].

В [39] разработана математическая модель процесса непланового ремонта на

< основе математического аппарата ТМО. Изучение процесса осуществляется в одноканальной и многоканальной СМО, с неограниченным ожиданием. Оптимизация системы непланового ремонта производится по критерию минимума приведенных затрат, связанных с простоем средств непланового ремонта и машинне! тракторного парка в ожидании обслуживания. |

” Аналитический метод получения расчетно-универсальной зависимости между эксплуатационными расходами и сроком службы предложен в [41]. Метод, основанный на пропорциональном изменении расходов от годности за срок службы машины, позволяет построить структурную гистограмму годности различных < типов машин с учетом разных систем технического обслуживания и ремонта. Большое внимание совершенствованию системы технического содержания локо- ? мотивов и МВПС уделяется учеными-железнодорожниками. При

этом совершенствование системы технического содержания осуществляется в направлении сокращения потерь из-за простоя подвижного состава на ТО и ТР и сокращения затрат на ремонтные работы путем:

- оптимизации цикличности и периодичности ТО и ТР и сокращения объемов плановых ремонтов;
- снижения трудоемкости ремонтных работ и повышения их качества за счет совершенствования технологии ремонта, механизации трудоемких процессов, внедрения методов и средств технической диагностики, компьютерных комплексов, обеспечения локомотивных депо необходимыми запасами узлов и деталей для ремонта;
- повышения уровня ремонтпригодности машин, выявления и устранения конструктивных недостатков, понижающих эксплуатационные качества оборудования;
- разработку методов рационального проектирования, использования и управления ремонтной базой.

Вопросам определения рациональной системы цикличности и периодичности ТО и ТР локомотивов посвящены исследования М.Д. Рахматулина, В.Н.Г. Лугинина, И.П. Исаева, Е.С. Павловича, В.А. Четвергова, А.В. Горского, А.Б. Подшивалова, Н.Г. Кабенигиа, А.А.Босова, А.А. Воробьева и других авторов \* [42-59].

Так в исследованиях, возглавляемых Е.С. Павловичем и В.А. Четверговым [47-49], построение оптимальной системы ремонтов осуществляется на основе информации о наработках на отказ оборудования.

При известном виде закона распределения наработки на отказ определяются рациональные сроки ремонта оборудования, исходя из минимума удельных затрат на плановые и неплановые ремонты. На основании оптимальных периодичностей восстановления отдельного оборудования путем группирования близких по значениям наработок строится система ремонта для локомотива в целом. \*/\*

Под руководством И.П. Исаева выполнен ряд работ [42-44, 52], которые позволяют на основе анализа процессов изнашивания оборудования электровозов комплексно решать задачи оптимизации системы ремонта в целом. Зная



у % - ные ресурсы деталей и узлов, лимитирующих межремонтные пробеги электровоза, предложена целевая функция в виде суммарных удельных затрат на восстановление N деталей:

$$Z(11, 12, \dots, 1N) = \sum_{i=1}^N C_i \cdot L_i$$

где  $C_i$  - стоимость восстановления i-ой детали;

$L_i$  - пробег между ремонтами i-ой детали,  $L_i \in (0; B_i]$  (здесь  $L_i$  - у % - ный ресурс i-той детали).

С учетом коэффициентов кратностей периодичностей ремонта i-ой детали  $\Pi_i = \Pi / \Pi_i$  целевая функция принимает вид:

$$Z(11, a_1, a_2, \dots, a_N) = \sum_{i=1}^N C_i \cdot \Pi_i \cdot L_i$$

Для отыскания оптимума целевой функции используется метод динамического программирования. Однако предложенный способ учитывает затраты только на восстановление деталей и не учитывает других видов затрат, связанных в целом с локомотивом.

А.В. Горским разработана методика [54], позволяющая на основании анализа процессов изменения контролируемых параметров оборудования локомотивов рассчитывать рациональные структуры ремонтного цикла при различных фиксированных уровнях его параметрической надежности.

**Ж**

В работе А.А. Босова [57] определение рациональных сроков ремонтов изнашиваемого оборудования осуществляется на основании измерителя наработки -> линейного пробега. При расчете структуры ремонтного цикла используется V принцип наибольшего общего кратного, реализация которого приводит к нарушению кратности межремонтных пробегов до ремонтов различного объема.

Работа А.А. Воробьева [58] является обобщением и развитием всех предшествующих работ. В [58] построение системы цикличности и периодичности ТО и ТР предлагается проводить, с учетом параметрических и непараметрических отказов оборудования электровозов на основе единого критерия - минимальных затрат на плановые и внеплановые ремонты с использованием метода динамического

го программирования. В [58] создана модель формирования системы ТО и ремонтов с учетом технического состояния электровозов.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что при формировании системы технических обслуживаний и ремонтов локомотивов учитываются только затраты на восстановление узлов и деталей. Однако разработанные методы не позволяют учитывать расходы, связанные с простоем на ТО и ТР локомотива в целом, сбалансированность ремонтной базы по мощности и уровню технической оснащенности, обеспечивающих реализацию определенного уровня восстановления работоспособности и снижения трудоемкости при устранении накопленных неисправностей.

Построение экономико-математических моделей для расчета межремонтных сроков вагонов с учетом их технического состояния, общих расходов на ТО и ТР, мощности ремонтной базы и ее технической оснащенности, проводятся в МИИТе и ВНИИЖТе [60-63]. Так в [61] межремонтные сроки грузовых вагонов определяются по минимуму целевой функции  $C$ :

$$C = S - Q + \text{Икр} + \text{Идр} + (\text{ак} * 1\text{к} + \text{Бк} * 1\text{к}^2),$$

где  $C$  - общие расходы, приведенные к сроку эксплуатации;

$S, Q$  - соответственно покупная цена и ликвидационная стоимость технических средств;

$\text{Икр}, \text{Идр}$  - суммарные затраты на капитальные и деповские ремонты;

$(\text{Як} * 1\text{к} + \text{Бк} * 1\text{к}^2)$  - затраты на ТО и ТР, зависящие от пробега;  $\text{Ж}$  - межремонтный пробег в  $k$ -ом межремонтном периоде.

Таким образом, практика работы побуждает постепенно расширять и углублять методические основы исследования процесса формирования рациональной системы технических осмотров и ремонтов локомотивов МВПС с учетом максимальной адаптации к процессам эксплуатации и ремонта.

Одним из направлений совершенствования системы технического содержания локомотивов является внедрение методов и средств технической диагностики.

Большой вклад в это направление внесли работы Э.Д. Тартаковского [64], Э.Э. ; Риделя [65], А.Д. Беленького [66].

Совершенствование технологии ремонта локомотивов происходит также путем разработки и внедрения компьютеризованных комплексов [17,67], что обуславливает переход к выполнению ТО и ТР по фактическому состоянию.

Вопросам рационального проектирования, эффективного использования и управления ремонтной базы посвящены работы Э.Д; Тартаковского [64], В.Ч. Озембловского [68], В.И. Сенько [69] и других авторов [70-75]. В [64] предложена методика выбора оптимального варианта организации работы поточных линий для производства ТО-3 тепловозам с использованием аппарата ТМО для различных режимов работы участков: с двухсменной и односменной работой, различными продолжительностями смен, различным годовым фондам времени. Проведенные исследования показали, что параметры эффективности работы участков с поточной линией в значительной степени определяются величинами КХ и Кц (КА, - коэффициент неравномерности поступления тепловозов на ТО-3, Кц - коэффициент неравномерности работы поточной линии). Кроме того, они зависят от целого ряда постоянных факторов, к которым относятся: число поточных линий для выполнения ТО-3 на участке; ритм работы поточных линий; вариант организации работы контингента, обслуживающего поточные линии; суточная потребная программа выполнения ТО-3 на потоке. Таким образом, варьируя эти параметры, выбирается оптимальный вариант организации работы поточной линии на участке ТО-3. Окончательный выбор варианта производится на основании анализа затрат Q на проведение ТО-3 тепловозам :

$$V = I^{np} - g - \text{г Ц/П},$$

где  $Q_{np}$  - издержки от простоя тепловозов в ожидании ТО-3;

$Q_p$  - издержки от простоя тепловозов собственно на ТО-3;

$Q_n$  - издержки на содержание ремонтного персонала линии.

В [68] разработана модель оптимизации распределения программы ТО-3 и ТР-г<sup>А</sup> 1 по депо общего полигона обращения электровозов. Предложена методика

нормирования уровня эффективного фонда времени участков ТО-3 и ТР-1 на / • основании имитационного моделирования аналитической модели СМО. При этом был использован принцип декомпозиции, т.с. строились отдельные аналитические модели для участі^ плановых ТО-3 и ТР-1 и для специализированных ремонтных позиций неплановых ремонтов (НР) электровозов.

I В [69] предложены методы по определению потребной мощности деповской  
У вагоноремонтной базы, которые являются существенным развитием теории экс-  
а плуатационного обеспечения парка вагонов и учитывают основные факторы: ве-  
I личину инвентарного парка\* показатели, характеризующие систему ремонта; экс-  
у плуатационную надежность вагонов и рост производительности труда. Опреде-  
|J лен характер влияния каждого из факторов на мощность базы. С использованием  
T У многофакторной модели, выраженной в саддарлизированном виде, была дана  
— оценка влияния эксплуатационной надежности вагонов на мощность ремонтной  
и.I базы. Предложена зависимость для расчета прогнозных значений потребной  
1 \ мощности деповской ремонтной базы, учитывающая вероятностный характер  
входящих параметров. Разработана методика решения задачи по распределению  
потребности парка вагонов в деповском ремонте между мастерскими парками с  
использованием методов динамического программирования.

Модели управления содержанием локомотивного парка депо с использованием  
метода динамики средних и аппарата ТМО разработаны под руководством В.Д.  
Кузьмича [70]. В [70] предложена модель функционирования локомотивного  
парка депо и путем численного решения получены графические зависимости из-  
менения численностей состояний локомотивов во времени. Определены пределы  
изменения коэффициента технического использования локомотивного парка при  
' условии, что нормативы межремонтных пробегов тепловозов и их простоев на .

ТО и ТР соответствуют нормативам, заложенным в приказе МПС № 28Ц. Эф- ?

Ж фективность работы участков ТО и ТР оценивается с помощью систем массово-  
го обслуживания (СМО) с простейшими входящими и обслуживающими полба-  
ми.

Анализ исследований и методов, посвященных проблеме проектирования, и(№,  
пользования и управления ремонтной базой, как одной из составных частей си- .^<

л Л стемы технического содержания и использования локомотивного парка, показы-^  
ваџ т, что существующие теоретические разработки в основном сориентированВі  
на тенденцию увеличения грузопотока, и как следствие, на увеличение мощности  
ремонтной базы локомотивов. В настоящее время наблюдается тенденция паде-'

ния грузопотока в результате общего спада экономики. В виду этого observers

тающих. В таких условиях более приоритетными становятся задачи определения резервов производственной мощности, разработки методов эффективного использования и управления ею, строгой количественной оценки принимаемых управленческих решений, как на уровне отдельных депо, так и на уровне управлений дорог и Укрзалізниці. При этом в компетенции депо находятся вопросы снижения расходов при проведении ТО и ТР за счет гибкого и экономически обоснованного принципа использования рабочих смен, применения современной технологии проведения ТО и ТР, создания экономически обоснованных размеров запасов узлов и агрегатов и способ формирования их. В компетенцию Управлений железных дорог и Укрзалізниці входят вопросы закрытия или перепрофилирования малодеятельных депо и обоснование концентрации производства ТО и ТР в других депо, пополнение сети дорог новыми локомотивами и др. При этом решения должны приниматься, как с учетом экономических критериев, так и с учетом безусловного выполнения основной функции локомотивных депо - полного обеспечения исправными локомотивами заданных размеров движения.

Решение таких проблем требует четкого теоретического обоснования, создания и использования методов и моделей, позволяющих получать решения с заданной точностью. Это в свою очередь требует их углубленной проверки на адекватность с использованием самого современного математического аппарата.

Разработанные ранее модели функционирования локомотивного парка депо

Ч

являются несколько упрощенными, поскольку не учитывают интенсивного обмена локомотивами с резервом управления дороги (РУД), что в настоящее время / характерно практически для всех локомотивных депо. Они не учитывают влияния также мощности ремонтной базы и степени ее использования на величин<sup>^</sup> парка в распоряжении депо.

3

Таким образом, возникает необходимость в создании моделей более тесно связанных с реальным процессом изменения состояния локомотивного парка. Принимая во внимание, что локомотивный парк является динамической системой<sup>^</sup> целесообразно проведение исследования процесса его функционирования на устойчивость в смысле классического определения по Ляпунову.

Весь этот комплекс вопросов должен быть увязан и с разработкой рациональной системы цикличности Апериодичности проведения ТО и ТР локомотиві,

более полно учитывающей все виды затрат и дающей возможность внедряться в формирование технологических процессов ТО и ТР.

Сравнительный анализ существующих методов оптимизации системы технического содержания и использования локомотивов показал, что каждый из них в основном решает поставленную задачу на уровне оптимизации отдельных подсистем: ТОР; проектирования, управления и использования ремонтной базы; совершенствования технологии проведения ТО и ТР локомотивов в депо. Оздоровление локомотивного хозяйства, его адаптация к новым экономическим условиям работы требует не только совершенствования теоретических методов расчета параметров и критериев оптимизации подсистем, составляющих систему технического содержания и использования локомотивов, а также комплексного исследования поведения отдельных подсистем с учетом их взаимовлияния.

На основании изложенного можно сформулировать основные задачи, которые необходимо было решить при проведении исследований.

1. Разработать динамическую модель функционирования локомотивного парка депо, учитывающую обмен локомотивами с РУД и влияние степени сбалансированности ремонтной базы с потоком локомотивов.
2. Исследовать поведение численностей состояний локомотивного парка в распоряжении депо, полученные решения проверить на устойчивость.
3. Исследовать характер поведения показателей использования локомотивного парка и организации проведения ТО и ТР в депо во времени.
4. Провести выбор и обоснование критерия качества управления функционированием участков ТО и ТР.
5. Разработать экономико-математическую модель функционирования участков ТО, ТР и НР на основе аппарата ТМО для принятия решений о способах исполнения, развития и управления деповской ремонтной базой.
6. Провести оценку погрешностей реальной и аппроксимирующей моделей.
7. Провести количественную оценку и исследовать поведение критерия качества управления системой участков ТО, ТР и НР, определить характер влияния экс-

■X

J-

8. Разработать методику определения оптимальных размеров запасов узлов и агрегатов локомотивов для удовлетворения потребности в проведении плановых и неплановых ремонтов при минимальных затратах.
9. Исследовать влияние изменения режимов работы участков ТО и ТР на процесс их функционирования.
10. Провести количественную оценку показателей эксплуатационной и ремонтной технологичности конструкции локомотивов.
11. Разработать методику формирования рациональной системы цикличности и периодичности ТО и ТР локомотивов с определением перечня работ на ТО и ТР, которая при максимальной надежности обеспечивает минимум затрат.

## 2, ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ “ЛОКОМОТИВНЫЙ ПАРК - УЧАСТКИ ТО И ТР”

### 2.1. Динамическая модель функционирования локомотивного парка в распоряжении депо

Основной задачей системы технического содержания локомотивов является обеспечение такой нормативной и информационной поддержки процессов эксплуатации и ремонта локомотивного парка, которая обеспечивала бы безусловное выполнение заданных объемов перевозок с минимальными затратами во всех существующих сферах (подсистемах), включая: проектирование, использование и управление деповской ремонтной базой; технологию проведения ТО и ТР; формирование запасов узлов и агрегатов локомотивов для удовлетворения потребности в проведении плановых и неплановых ремонтМ; систему цикличности и периодичности ТО и ТР и др. С этих позиций процесс функционирования локомотивного парка является связующим звеном всех подсистем, входящих в систему технического содержания и использования локомотивов. Поэтому проблему совершенствования системы технического содержания локомотивов необходимо решать путем определения механизмов связей отдельных подсистем и их формализации на строгой теоретической основе. Для этого предлагается рассмотреть динамическую модель функционирования локомотивного парка, адаптированную к современным экономическим условиям в стране.

Существующий в настоящее время парк локомотивов в распоряжении депо и соответствующие ему производственные мощности всех элементов тягового хозяйства, в том числе и производственные мощности для осуществления ТО и ТР были сориентированы на относительно постоянную величину грузр- и пассажиропотоков. В современных условиях величина грузооборота носит переменный характер. В настоящее время продолжается тенденция падения объема грузовых перевозок, как в силу общего спада производства в стране, так и из-за

ограниченной платежеспособности гру ^владельцев. Поэтому для осуществления ч

стабильного функционирования системы цехов и участков ТО и ТР в депо должна проводиться гибкая техническая политика, для осуществления которой необходимо постоянно оценивать и прогнозировать соответствие между существующей производственной мощностью системы и потребной ремонтной программой ТО и ТР. Величина эксплуатируемого парка депо - Кэспл. определяется в основном грузо- и пассажиропотоками на рассматриваемом полигоне, т.е. формируется под воздействием внешних факторов, на которые локомотивное депо не оказывает непосредственного влияния. Процесс изменения грузопотока в общем состоит из периодов падения, увеличения или стабилизации на новом уровне, синхронно с ним изменяется и размер эксплуатируемого парка. Однако изменение грузопотока влияет на величину потребных ремонтных программ ТО и ТР с некоторым временем запаздывания, так как процесс этого влияния носит инерционный характер. Таким образом, целесообразно оценить период упреждения, за который необходимо принять управленческие решения по обеспечению устойчивого функционирования системы с минимальными затратами.

Итак, учитывая, что в настоящее время размер эксплуатируемого парка локомотивов в депо значительно колеблется в виду изменения грузопотока, лишний парк локомотивов отставляется в резерв управления дороги (РУД) или эксплуатируемый парк пополняется из РУД. Время пребывания локомотивов в РУД различно и зависит от вида резерва. Локомотивы резерва управления дороги размещаются на специально отведенных железнодорожных путях. Электровозы, тепловозы и МВПС, выделенные для постановки в РУД, должны отвечать определенным требованиям, основными из которых являются техническая исправность и быстрая готовность к эксплуатационной работе. Локомотивы запаса и резерва дороги подвергаются периодическим осмотрам и контрольным проверкам в соответствии со специальной инструкцией. Минимальный срок нахождения электровозов, а в летнее время тепловозов в РУД - трое суток. В зимнее время тепловозы отставляют в резерв дороги на срок не менее десяти суток. На трое суток локомотивы ставятся в РУД без консервации. Таким образом, время пребывания локомотива в РУД можно считать случайной величиной.

Рассмотрим локомотивный парк депо как совокупность элементов (локомотивов), которые в процессе длительной эксплуатации могут находиться в различных состояниях. При этом локомотивный парк депо является динамической системой, поскольку фактор времени играет основную роль в изменении состояния этой системы.

За основу математической модели процесса функционирования локомотивного парка примем поток локомотивов между внешней средой и депо. Обозначим через  $N(t)$  переменную состояния системы, через  $W(t)$  - входящие,  $Y(t)$  - выходящие, а  $Z(t)$  - находящиеся в распоряжении депо локомотивы.

Переменные  $N(t)$ ,  $W(t)$ ,  $Y(t)$  и  $Z(t)$  характеризуют количество локомотивов, находящихся в момент  $t$  в каждом из рассматриваемых состояний.

Тогда описание работы системы по теории потока можно дать уравнениями баланса относительно переменных состояния для выбранного интервала времени  $[t_0, t_n]$  [76]

$$N(t) = N(t_0) + W(t_0, t_n) - Y(t_0, t_n) + Z(t_0, t_n),$$

где при непрерывном потоке по времени

$$W(t_0, t_n) = \int_{t_0}^{t_n} fW(t)dt,$$

а в случае дискретно работающей во времени системы

$$W(t_0, t_n) = \sum_j W(t_j) \quad t_j \in [t_0, t_n]$$

где  $W(t)$  - мгновенное значение соответствующей численности состояния в момент времени  $t$ .

Аналогично определяются  $Y$  и  $Z$ .

Рассмотрим более детально составляющие, входящие в уравнение баланса :

**- входящие в систему локомотивы**

$W_1(t)$  - новые ;

$W_2(t)$  - после заводского ремонта ;

$W_3(t)$  - из других депо на ремонт.

**- выходящие из системы локомотивы**

- $Y_1(t)$  - заводской ремонт ;
- $Y_2(t)$  - плановое списание ;
- $Y_3(t)$  - аварийное списание ;
- $Y(t_0, t_n) = Y_4(t)$  - запас МПС ;
- $Y_5(t)$  - аренда;
- $Y_6(t)$  - в другие депо после ремонта.

**- находящиеся внутри системы локомотивы**

- $Z_1(t)$  - используемые по назначению ;
- $Z_2(t)$  - на плановых видах обслуживания и ремонта ;
- $Z_3(t)$  - на неплановом ремонте ;
- $Z_4(t)$  - в ожидании исключения из инвентарного парка;
- $Z_5(t)$  - прочие ;
- $Z_6(t)$  - резерв управления дороги .

Часть локомотивов, находящихся на вывозной, хозяйственной и прочих работах  $Z_5(t)$ , в совокупности с  $Z_4(t)$  составляет для конкретного депо небольшую и постоянную по количеству единиц группу. На основе опыта работы локомотивных депо можно также предположить, что влияние таких факторов как  $W_1(t)$ ,  $W_2(t)$ ,  $W_3(t)$ ,  $Y_1(t)$ ,  $Y_2(t)$ ,  $Y_3(t)$ ,  $Y_4(t)$ ,  $Y_5(t)$ ,  $Y_6(t)$  незначительно и в данной модели не будем принимать их во внимание.

Учитывая это, представим систему в виде графа состояний и переходов (рис. 2.1). Локомотив, как восстанавливаемый объект, может находиться в двух состояниях: работоспособном и неработоспособном. Работоспособное состояние соответствует пребыванию локомотива в эксплуатируемом парке или в РУДе, а неработоспособное соответствует пребыванию в депо на одном из видов ТО, ТР или НР. Обозначим эти состояния следующим образом:

- S11 - локомотив находится в эксплуатируемом парке ;

Граф-модель состояний локомотивного парка депо

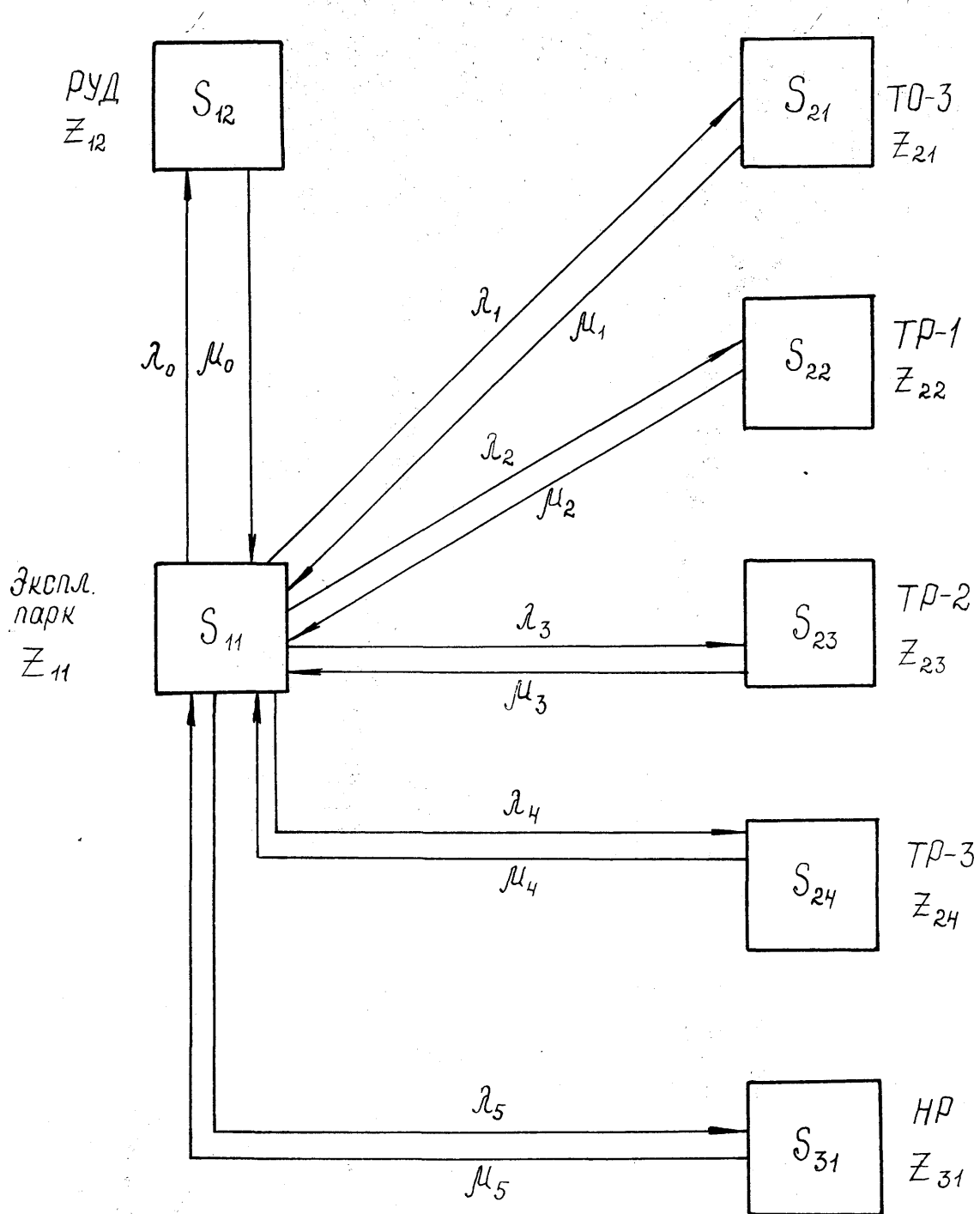


Рис. 2. i

- S12 - локомотив находится в РУДе ;
- S21 - локомотив находится на ТО-3 ;
- S22 - локомотив находится на ТР-1 ;
- S23 - локомотив находится на ТР-2 ;
- S24 - локомотив находится на ТР-3 ;
- S31 - локомотив находится на НР.

Т.е. по сути дела рассмотрим локомотивный парк депо как замкнутую систему. В процессе длительной эксплуатации каждый конкретный локомотив неоднократно оказывается в каждом из состояний  $S_{ij}$ . Учитывая, что парк в распоряжении депо состоит из  $K_{рд}$  локомотивов, целесообразно использовать метод динамики средних [77], позволяющий описывать случайные процессы с большим числом элементов. Основная идея метода состоит в определении средних численностей состояний путем решения системы дифференциальных уравнений, полученной на основе рассматриваемой граф-модели (рис. 2.1).

На характер перехода локомотива из состояния в состояние влияет большое количество случайных факторов: надежность локомотива; режим его использования; дорожные и климатические условия; организация ремонта и технического обслуживания; периодичность ТО и ТР; квалификация локомотивных бригад и другие. Поэтому переход из состояния в состояние носит вероятностный характер и оценивается плотностями вероятности перехода  $\%_к$  и  $\%_к$ .

$\%_к$  и  $\%_к$  представляют собой интенсивности потоков событий, переводящих каждый локомотив из состояния в состояние. Сделаем допущение, что все потоки, переводящие систему (и каждый конкретный локомотив) из состояния в состояние - пуассоновские. Тогда процесс функционирования локомотива во времени можно представить в виде дискретного марковского случайного процесса с непрерывным временем. Это допущение делает несколько грубой модель функционирования локомотивов во времени, однако не настолько, чтобы нельзя было ею пользоваться для решения инженерно-практических задач управления и проектирования систем технического обслуживания и ремонта.

Для постоянных значений  $X_k$  и  $jLX_k$  система дифференциальных уравнений для графа-состояний, приведенной на рис. 2.1, имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
 \frac{dz^{\wedge}(t)}{dt} = & -Z_{i1}(t)X_0 - Z_{i1}(t)X_i - Z_{i1}(t)X_2 - Z_{i1}(t)X_3 - \\
 & - Z_{i1}(t)X_4 - Z_{i1}(t)A_{,5} + Z_{12}(t)LX_0 + Z_{21}(t)LL_1 + \\
 & + Z_{22}(t)LL_2 + Z_{23}(t)Ц_3 + Z_{24}(t)pi_4 + Z_3 l(t) JLX_5; \\
 \frac{dz^{\wedge}(t)}{dt} = & - Z_{i2}(t)io + Z_n(t)X_0; \\
 \frac{dz^{\wedge}(t)}{dt} = & -Z_{2i}(t)H] + Z_n(t)X_i; \\
 \frac{dz^{\wedge}(t)}{dt} = & -Z_{22}(t)H_{12} + Z_{11}(t)H_{2-} \\
 & = -Z_{23}(t)g_3 + Z_{i1}(t)X_3; \\
 \frac{dz^{\wedge}(t)}{dt} = & -Z_{24}(t)p_{,4} + Z_u(t)A_{,4J} \\
 \frac{dz^{\wedge}(t)}{dt} = & -Z_{31}(t)g_5 + Z_{11}(t)Z_5;
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

где  $Z_{ij}(t)$ ,  $Z_{21}(t)$ ,  $Z_{22}(t)$ ,  $Z_{23}(t)$ ,  $Z_{24}(t)$ ,  $Z_3 j(t)$ ,  $Z_{12}(t)$

среднее число

локомотивов, находящихся в эксплуатации, на ТО-3, ТР-1, ТР-2, ТР-3, НР, РУД соответственно в момент времени  $t$ .

Величина  $Z_{ij}(t)$  имеет смысл математического ожидания некоторой доли от общего количества  $K_{рд}$  локомотивов, находящихся в состоянии  $S_{ij}$  в момент  $t$

$$Z_{ij}(t) = P_{ij}(t)N_{pa},$$

где  $P_{ij}(t)$  - вероятность пребывания одного локомотива в состоянии  $S_{ij}$ .

Для решения системы уравнений задается условие нормировки в следующем виде:

$$10)^+ \sum_{j=i}^4 Z_{2j}(t) + z_3 j(t) + z_{12}(t) = N_{рд}$$

где  $N_{рд}$  - парк локомотивов, находящихся в распоряжении депо.

Решаем систему дифференциальных уравнений, задавая конкретные значения  $L_k$  и  $ц_k$ , начальные условия для  $t = 0$ ; пределы и шаг интегрирования.

Для упрощения решения системы дифференциальных уравнений одно из них заменяем на условие нормировки, т.е. получаем систему дифференциальных уравнений на единицу меньшего порядка:

$$\begin{aligned}
 \frac{dZ_i(t)}{dt} &= -Z_i(t) + \sum_{j=1}^p f_{ji} Z_j(t) + Z_{12}(t) \delta_{i1}; \\
 \frac{dZ_1(t)}{dt} &= -Z_{21}(t) p_{.1} + \left( N_{.1} - \sum_{j=1}^p f_{1j} Z_j(t) + Z_{31}(t) + Z_{12}(t) \right) X_1; \\
 \frac{dZ_2(t)}{dt} &= -Z_{22}(t) + \left( B_{пд} - \sum_{j=1}^p L_{2j} Z_j(t) + Z_{31}(t) + Z_{12}(t) \right) X_2; \\
 \frac{dZ_3(t)}{dt} &= -Z_{23}(t) n_3 + \left( N_{.3} - \sum_{j=1}^p f_{3j} Z_j(t) + Z_{31}(t) + Z_{12}(t) \right) X_3; \\
 \frac{dZ_4(t)}{dt} &= -Z_{24}(t) p_4 + \left( I_{пд} - \sum_{j=1}^p I_{2j} Z_j(t) + Z_{31}(t) + Z_{12}(t) \right) X_4; \\
 \frac{dZ_5(t)}{dt} &= -Z_{31}(t) + \left( N_M - \sum_{j=1}^p f_{2j} Z_j(t) + Z_{33}(t) + Z_{12}(t) \right) X_5.
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

При решении системы целесообразно применять метод Рунге-Кутты, используя соответствующие стандартные программы на ПЭВМ.

На основании решения системы дифференциальных уравнений определяем средние численности состояний  $Z_{ij}(t)$ . Соответствующие им дисперсии  $D_{ij}(t)$  целесообразно оценить в соответствии с [77] по формулам:

$$D_n(t) = Z_n(t) X_1^{-1};$$

L P D J

$$D_{12}(t) = z_{12}(t) X_1^{-1};$$

L P D J

$$D_{21}(t) = Z_{21}(t) X_1^{-1};$$

L P D J

$$D_{22}(t) = z_{22}(t) X_{пд}^{-1};$$

; P D

$$Z_{23}(0) - Z_{23}(t) X \quad \left[ 1 - \frac{Z_{23}(t)}{N_{\text{рл}}} \right]$$

$$1 - Z_{24}(0) - Z_{24}(t) X \quad \frac{1 - Z_{24}(0)}{N_{\text{рл}}}$$

$$D_{3i}(t) - Z_{31}(t) X \quad \frac{1 - Z_{31}(t)}{N_{\text{рл}}}$$

Тогда среднеквадратическое отклонение определяем :

$$\sigma_{ij}(0) =$$

Учитывая, что число локомотивов  $N_{\text{рл}}$  в рассматриваемой системе достаточно велико, можно принять, что численность каждого состояния  $S_{ij}$  распределено по нормальному закону. Тогда, зная математические ожидания и средние квадратические отклонения численностей состояний имеется возможность оценить также и вероятности различных состояний системы в целом, т.е. вероятность того, что численность какого-то состояния будет заключена в определенных пределах.

Вероятность того, что случайная величина  $Z_{ij}$  будет заключена в границах от  $\alpha$  до  $\beta$  определится по формуле:

$$P(\alpha < Z_{ij} < \beta) = \Phi \left( \frac{\beta - Z_{ij}}{\sigma_{ij}} \right) - \Phi \left( \frac{\alpha - Z_{ij}}{\sigma_{ij}} \right)$$

где  $\Phi(x)$  - функция Лапласа.

Полученная система дифференциальных уравнений (2.2) решалась методом Рунге-Кутты на ПЭВМ для следующих начальных условий и параметров: Урд 50 локомотивов; начальные условия при  $t = 0$ :

$$Z_{11} = 4; Z_{12} = 0; Z_{21} = 8; Z_{23} = 3; Z_{24} = 2; Z_{31} = 6; Z_{32} = 5.$$

Значения  $\mu_k$  и  $\sigma_k$  определялись соответственно из выражений:

$$\mu_k = \frac{1}{t_k}, \quad \sigma_k = \frac{1}{t_k} \quad (k = 1, 2, \dots, 5),$$

где  $t_k$  - среднее время наработки локомотива между ТО, ТР и НР принималось в соответствии с действовавшим приказом № 28-Ц для тепловозов 2ТЭ116 и

по статистическим данным ( для НР );

Тк - среднее время продолжительности пребывания локомотива в депо для проведения ТО, ТР или НР принималось также в соответствии с действовавшим приказом №28-Ц для тепловозов 2ТЭ116 или по статистическим данным депо (для НР);

$X_0$  и  $|\lambda_0$  - определены по статистическим данным, собранным в депо Основа Южной железной дороги.

В результате решения на ПЭВМ получены функции  $Z_{ij} = Z_{ij}(t)$ , представленные на рис 2.2. Из рис. 2.2 видно, что при  $t \rightarrow \infty$  средние численности состояний  $Z_{ij}(t)$  стремятся к предельным значениям. Таким образом, при уменьшении грузопотока лишние локомотивы отставляются в РУД с постоянной интенсивностью  $X_0$ , а при необходимости пополняют парк локомотивов, используемых по назначению, с интенсивностью  $\lambda_0$ , средняя численность локомотивов РУД увеличивается и начиная с  $t=150$  часов, стабилизируется. Средние численности локомотивов, используемых по назначению (Уэкспл), локомотивов, пребывающих в депо на ТО, ТР и НР уменьшается и с ростом  $t$  стабилизируется. При этом время необходимое для стабилизации величины Уэкспл. равно времени для стабилизации величины Уруд. Время для стабилизации средних численностей локомотивов на ТО и ТР различно и увеличивается от ТО-3 к ТР-3.

Для рассматриваемой граф-модели (рис.2.1) и соответствующих ей систем дифференциальных уравнений (2.1) или (2.2) существование предельных значений средних численностей состояний  $Z_{ij}(t)$  при  $t \rightarrow \infty$ , т.е. существование установившегося режима обосновано теоретически. Так согласно [77], если число возможных состояний системы конечно и из каждого состояния можно перейти в любое другое, то предельные вероятности состояний существуют и не зависят от начального состояния системы. Анализ возможных состояний, в которых может находиться локомотив показывает, что оно всегда конечно и за конечное число шагов каждый локомотив может попасть в любое из этих состояний. Вероятности состояний  $P_{ij}$  не зависят от времени и представляют собой среднее относительное время пребывания локомотива в данном состоянии.

Изменения состояний локомотивного парка депо

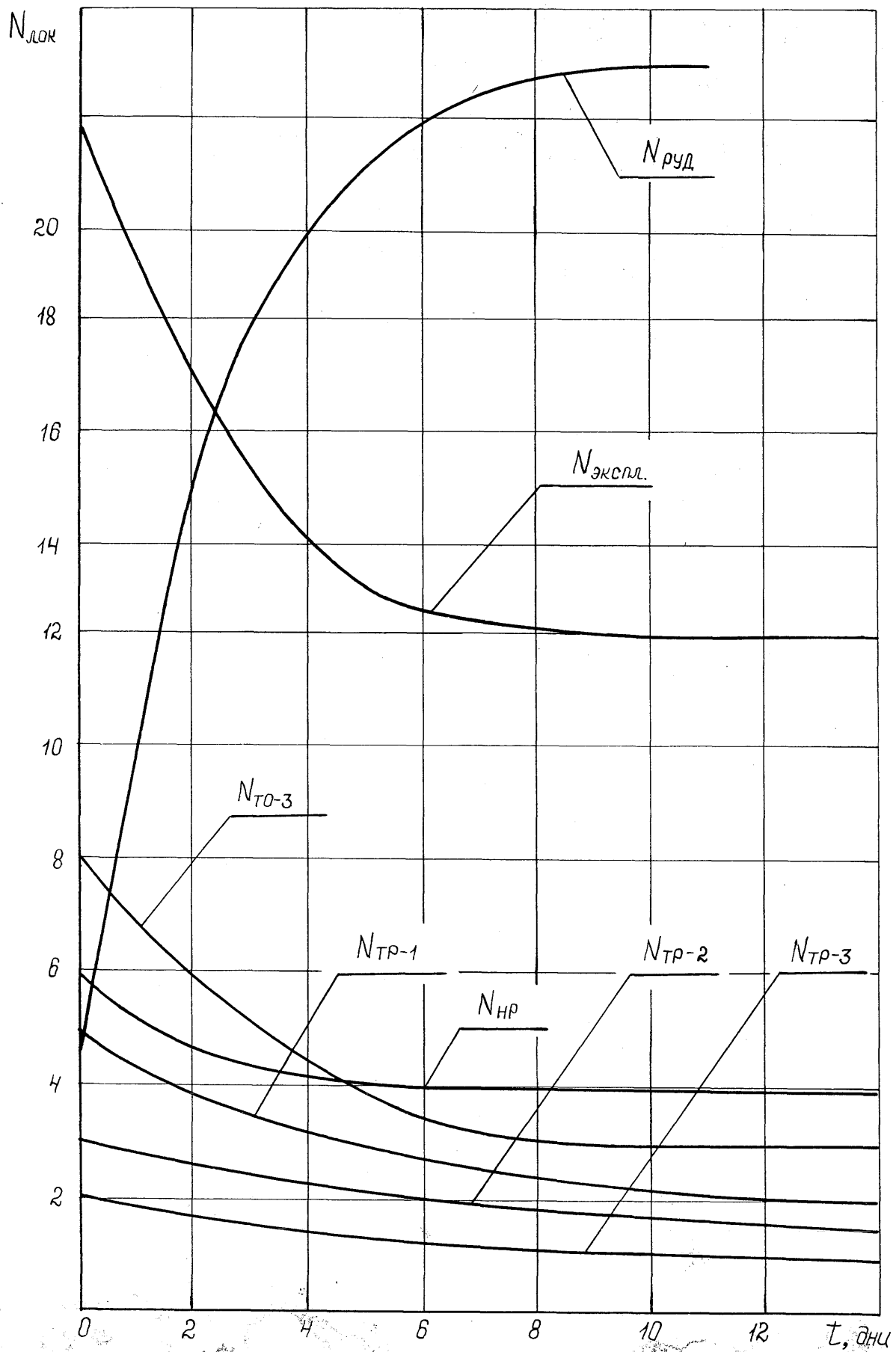


Рис. 2.2

Если левые части дифференциальных уравнений (2.1) или (2.2) положить равными нулю, то получится система линейных алгебраических уравнений, имеющих единственное решение. Результаты, приведенные на рис. 2.2 подтверждают существование установившегося режима в рамках рассматриваемой модели, т.е. при интенсивностях  $\lambda_k$  и  $\mu_k$  принимающих конкретные значения.

Предложенная модель дает вполне удовлетворительную точность решения и позволяет принимать адекватные управленческие решения при изменении величины грузопотока.

Однако, более глубокий анализ ситуации показывает, что интенсивности потоков  $X_k$  и  $\mu_k$ , переводящие локомотив из одного состояния в другое, зависят от численности самих состояний. Так, например, время, которое каждый конкретный локомотив пребывает на ТО, ТР или НР в депо зависит от общего числа ремонтируемых в данный момент локомотивов: чем это количество больше, тем больше, в среднем, пробудет на ТО, ТР или НР каждый отдельный локомотив ( с учетом времени ожидания ), и тем, следовательно, меньше будет интенсивность потоков событий, переводящих каждый отдельный локомотив из неработоспособного состояния в работоспособное.

Таким образом, численность локомотивов в любом из возможных состояний зависит от интенсивностей перехода  $X_k$  и  $\mu_k$ . В то же время интенсивности  $X_k$  и  $\mu_k$  зависят от численности локомотивов в состоянии  $S_{ij}$ . Однако, согласно принципу квазирегулярности [77-80] интенсивности потоков событий, переводящих элемент ( в данном случае - локомотив ) из состояния в состояние, зависят не от самих численностей состояний  $Z_{ij}$ , а от их математических ожиданий  $Z_{ij}$ . Это допущение приводит к существенным погрешностям только, когда общее число локомотивов в распоряжении депо  $K_{рд}$  сравнительно мало. Однако, чем больше число локомотивов в парке, тем меньше отличаются фактические численности состояний от своих математических ожиданий. Существенен также вид зависимости, связывающей интенсивности потоков событий  $\lambda_k$  и  $\mu_k$  с численностями состояний. Чем ближе эта зависимость к линейной ( в области практически возможных значений аргументов ),

тем меньшую погрешность дает замена случайной численности состояний их средними значениями.

Анализируя граф-модель, приведенную на рис.2.1, исследуем, какие из интенсивностей могут зависеть от численности состояний  $Z_{ij}(t)$ . Очевидно, что интенсивности поступления каждого конкретного локомотива на ТО и ТР -  $\lambda_1$ ,  $\lambda_3$  и  $X_4$  не зависят от численности состояний  $S_{ij}$ , поскольку определяются действующей системой ТОР, построенной на планово-предупредительном принципе, т.е. локомотивы поступают на ТО и ТР в соответствии с нормативами выполненных межремонтных пробегов или календарного времени работы. Интенсивность поступления на НР -  $X_5$ , зависит от надежности каждого конкретного локомотива и также не связана с численностью состояний  $S_{ij}$ . Интенсивности обслуживания на ТР-2 и ТР-3 -  $\mu_3$  и  $\mu_4$ , также не зависят от численности состояний, так как процесс поведения ТР-2 и ТР-3 в депо организован так, что время ожидания локомотивов при этих видах ремонта практически равно нулю. Это подтверждается и соответствующими статистическими исследованиями. Интенсивности пребывания локомотивов в депо при проведении им ТО-3, ТР-1 и НР -

$\mu_2$  и  $\mu$  зависят от численности состояний и определяются параметрами мощности системы рассматриваемых участков. Учитывая, что ТО-3, ТР-1 и НР выполняются, как правило, на одних и тех же ремонтных позициях, соответствующие интенсивности зависят от пропускной способности системы участков ТО-3, ТР-1 и НР, а точнее от времени ожидания  $t_{ож}$ , изменение величины которого исследовано в разделе 4 настоящей диссертации. Интенсивности поступления и возврата локомотивов из РУД -  $X_0$  и  $\mu_0$  определяются величиной грузопотока и, как следствие, численностью состояния  $S_{11}$ , т.е. численностью эксплуатируемого парка -  $Z_{11}(t)$ .

Определим вид зависимостей  $\mu_1(t)$ ,  $\mu_2(t)$  и  $\mu_5(t)$  от численности состояний  $Z_{ij}(t)$ . Для этого интенсивности  $\mu_1(t)$ ,  $\mu_2(t)$  и  $\mu_5(t)$  представим в следующем виде:

ТО-3 "Г ЮЖ

$$\Gamma = \frac{1}{T_{TP-1}} + \frac{1}{T_{TP-1}} + \frac{1}{T_{TP-1}}$$

$$\frac{1}{T_{TP-1}} = \frac{1}{T_{TP-1}} + \frac{1}{T_{TP-1}}$$

где  $t_{TO-3}$ ,  $t_{TP-1}$  и  $t_{HP}$  - среднее время пребывания локомотива на ремонтном стойле при выполнении ТО-3, TP-1 и HP соответственно;  
 $t_{OЖ}$  - среднее время ожидания локомотива в очереди.

В соответствии с формулой Литтла время пребывания в очереди определяется по формуле [81,82]:  $t_{OЖ} = \frac{\Gamma}{\lambda}$

где  $\Gamma$  - среднее число заявок в очереди,  
 $\lambda$  - интенсивность потока заявок в системе ( в отличие от интенсивностей поступления конкретного локомотива в систему ТОР).

Величину  $\Gamma$  представим как

$$\Gamma = \lambda(Z_{21}(t) + Z_{22}(t) + Z_{31}(t) - n),$$

где  $n$  - число ремонтных позиций в системе участков ТО-3, TP-1 и HP.

Произведя незначительные преобразования и полагая, что

$$\lambda_{TO-3} = \lambda, \quad \mu_2 = 1/t_{TP-1}, \quad \mu_3 = 1/t_{HP}, \quad \text{получим:}$$

$$\mu_2(t) = \frac{\mu_1}{1 + \frac{\mu_1}{1 + \mu_1 * (Z_{21}(t) + Z_{22}(t) + Z_{31}(t) - n)} \mu_2} \cdot \frac{\mu_2}{1 + \mu_2 * (Z_{21}(t) + Z_{22}(t) + Z_{31}(t) - n)}$$

$$\mu_5(t) = \frac{\mu_5}{1 + \mu_5 * (Z_{21}(t) + Z_{22}(t) + Z_{31}(t) - n)}$$

Анализ полученных выражений показывает, что когда численность состояний  $Z_{21}(t) + Z_{22}(t) + Z_{31}(t) \leq n$ , то время ожидания  $t_{OЖ} = 0$  и интенсивности  $\mu_2(t)$  и  $\mu_5(t)$  не зависят от численности состояний и являются величинами постоянными.

В случае, если  $Z_{21}(t) + Z_{22}(t) + Z_{31}(t) > n$ , то интенсивности  $\mu_2(t)$ ,  $\mu_3(t)$  и  $\mu_5(t)$  убывают по гиперболическому закону с ростом численности состояний.

Тогда в общем виде эти интенсивности можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 & \text{г Нк? если } Z_{21}(t) + Z_{22}(t) + Z_{31}(t) < n, \\
 (t) = & \frac{k S 1 + |x_k * (Z_{21}(t) + Z_{22}(t) + Z_{31}(t) - n) / x_c}{\wedge \text{если } Z_{21}(t) + Z_{22}(t) + Z_{31}(t) > n,}
 \end{aligned}$$

где  $k = 1, 2, 5$ .

При постоянной величине грузопотока количество локомотивов, находящихся в РУД, также величина практически постоянная. А интенсивности  $X_0$  и  $|D_0$  по величине незначительны и не изменяются или же равны по величине. При уменьшении грузопотока численность эксплуатируемого парка  $Z_n(t)$  становится больше потребной, а интенсивность  $X_0$  растет при неизменной интенсивности  $C_0$ . При увеличении грузопотока численность эксплуатируемого парка  $Z_{ii}(t)$  становится меньше потребной, а интенсивность  $C_0$  растет при неизменной интенсивности  $X_0$ .

Т.е.  $X_0(t) = (P_i f Z_n(t)) n$   $H_0(t) = \phi_2 f Z_n(t)$ . Причем на вид зависимостей  $Z_0(t) = C_{p3} (Z^{\wedge} t)$  и  $C_0(1) = \phi_2 (Z_n(t))$  техническая политика, проводимая в депо не оказывает практического влияния, эти зависимости определяются исключительно внешними факторами.

Таким образом, при уменьшении величины грузопотока и для случая, когда производственная мощность участков ТО-3, ТР-1 и НР достаточно высока, чтобы  $1_{ож} 0?$  системы дифференциальных уравнений (2.1) или (2.2) достаточно точно описывают процесс изменения локомотивного парка в распоряжении депо. Средние численности состояний стремятся и достигают через определенный интервал времени некоторых предельных значений (рис. 2.2), следовательно существуют стационарные распределения средних численностей состояний, а процесс изменения состояния локомотивного парка депо носит характер устойчивого равновесия. При этом величина коэффициента технического использования локомотивного парка  $K_{ти}$  для начального состояния системы при  $t = 0$  и в установившемся режиме одинакова, то есть

$$z_{11}(t) + z_{21}(t) + z_{22}(t) + z_{23}(t) + z_{24}(t) + z_{31}(t) = \text{const.}$$

В переходной период от начального состояния системы до стабилизации Кти несколько падает, а потом растет и достигает своего первоначального значения. Величина коэффициента технической готовности парка

$$jz- \frac{z_{11}(0) + z_{12}(t)}{z_{11}(K) + z_{12} O + z_{21}W + z_{21}(t) + z_{23} (0 + z_{24} 0) + z_{31}W}$$

возрастает асимптотически до постоянной величины в установившемся режиме.

В случае, когда производственная мощность участков ТО-3, ТР-1 и НР, и как следствие их пропускная способность такие, что образуется очередь локомотивов, запишем дифференциальные уравнения динамики средних для численностей состояний парка локомотивов в распоряжении депо, используя принцип квазирегулярности. Т.е. согласно принципу квазирегулярности заменим случайные величины численностей состояний  $Z_{ij}(t)$  их математическими ожиданиями  $Z_{ij}$ .

Введем обозначение  $\phi = (Z_{21} + Z_{22} + Z_{31} -$

Тогда уравнения динамики средних будут иметь следующий вид:

$$f Hz \frac{d}{dt} \left[ \frac{z_{11}(t)}{z_{11}(K) + z_{12} O + z_{21}W + z_{21}(t) + z_{23} (0 + z_{24} 0) + z_{31}W} \right] + (1 + jL1J Q)Z_{21} + \frac{C_2}{(1 - M - 2 ip)^2} Z_{22} + \frac{C_3}{(1 + |d_5 9)} Z_{31} + 1X3Z_{23} + p_{i3} Z_{24};$$

$$\frac{dz_{23}}{dt} = \frac{C_3}{Z_{iO}Z_n} - C_{p_x}(Z_{ii})Z_{i2};$$

$$\frac{dz_{11}}{dt} = X_1 Z_n - |i_1 / (1 + |4_1(p)) Z_{2i};$$

$$\frac{dz_{22}}{dt} = Z_2 Z_{ii} - p_{i2} / (1 + |2_2 < p) Z_{22}; \tag{2.3}$$

$$\frac{dz_{23}}{dt} = \frac{C_3}{Z_{iO}Z_n} - C_{p_x}(Z_{ii})Z_{i2};$$

$$\frac{dz_{24}}{dt}$$

$$\dot{z}_{24} = X_5 Z_{n-g_5} / (1 + n_5(p) Z_{3i});$$

Учитывая, что рассматриваемая система локомотивов замкнутая, любое из уравнений (2.3) можно отбросить, так как

$$\dot{z}_{11} + \dot{z}_{12} + \dot{z}_{21} + \dot{z}_{22} + \dot{z}_{23} + \dot{z}_{24} + \dot{z}_{31} = \dot{z}_{рд},$$

Полученная система решается численно на ПЭВМ при заданных начальных условиях. При этом результаты, представленные на рис. 2.2 являются частным случаем решения системы (2.3).

Решаем систему дифференциальных уравнений (2.3) для случая, когда количество локомотивов в РУД остается постоянным, а пропускная способность участка ТО-3, ТР-1 и НР такова, что образуется очередь локомотивов перед участком. Длина очереди ограничивается числом локомотивов равным ш. Система (2.3) решалась численно на ПЭВМ методом Рунге-Кутты при следующих параметрах и начальных условиях:  $K_{рд} = 100$  локомотивов;  $n = 4$  стойла;  $g_i = 9$ ; значения  $X_k$  и  $z_k$  приняты в соответствии с межремонтными пробегами и простоями приказа №28Ц для тепловозов 2ТЭ116; при  $t=0$   $z_{11} = 82$ ;  $z_{12} = \dot{z}_{12}$ ;  $z_{21} = 4$ ;  $z_{22} = 2$ ;  $z_{23} = 2$ ;  $z_{24} = 1$ ;  $z_{31} = 3$ .

Полученные в результате функции  $Z_{ij}(t)$  приведены на рис 2.3. Анализ полученных результатов показывает, что и в этом случае средние численности состояний стремятся к предельным значениям. Коэффициенты  $K_{ти}$  и  $K_{г}$  уменьшаются до некоторых величин, соответствующих установившемуся предельному состоянию локомотивного парка в распоряжении депо и остаются постоянными.

Исследуем состояние локомотивного парка депо для случая, когда производственная мощность участков ТО-3, ТР-1 и НР такая, что очередь локомотивов может возрастать неограниченно, тогда интенсивность обслуживания каждого конкретного локомотива монотонно убывает по гиперболическому закону при увеличении суммарной численности состояний  $Z_{21} + Z_{22} + Z_{31}$ . Интенсивность поступления локомотивов из РУД в эксплуатируемый парк очевидно должна быть

Изменение состояния локомотивного парка депо  
( $N_{pg} = 100$ )

б)

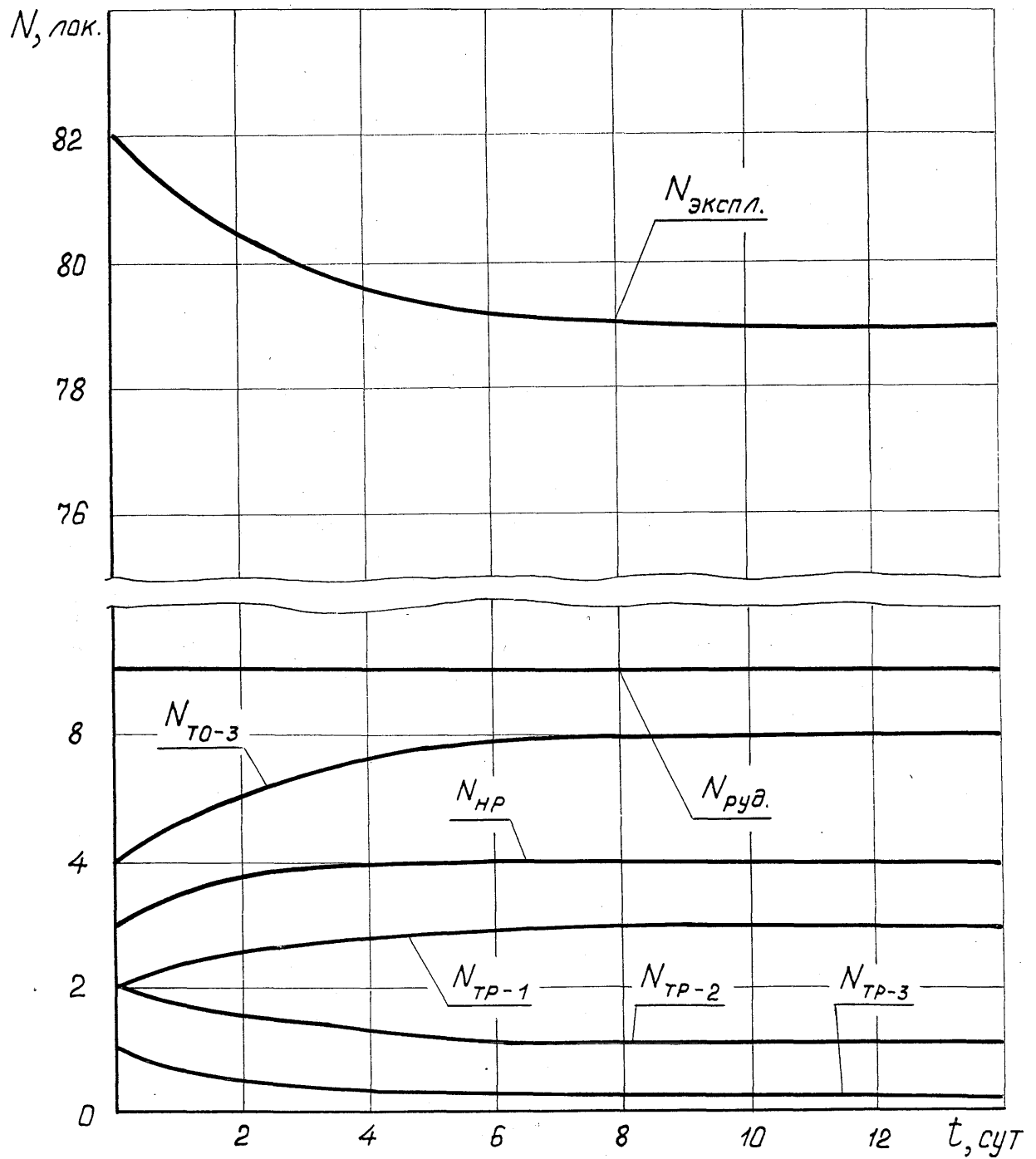


Рис. Г. 3

убывающей функцией от  $Z_n(t)$ , чтобы величина требуемого эксплуатируемого парка оставалась постоянной для выполнения заданного объема перевозок, т.е.

$$M'_0(Z_n) = \Phi_2(\wedge \Pi) \vee A_1 \cdot$$

Положим  $(p_2(\wedge \Pi) \rightarrow a/\wedge \Pi >$

где  $a$  - некоторая константа.

Для этого случая очевидно  $X_0 = \langle p_r(Z_{ir}) \rightarrow 0$ . Тогда окончательно

$$\Phi_r(A_1) \begin{cases} \text{если } Z_{ia}(t) > 0; \\ A_1 \end{cases} \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ \end{matrix} \begin{matrix} \\ \\ 0, \text{ если} \\ Z_{1f}(t) = 0. \end{matrix}$$

Система дифференциальных уравнений (2.3) решалась численно в этом случае для следующих параметров и начальных условий:

$n_{рд} = 100$  локомотивов,  $\pi = 4$  стойла,  $m = 80$ ; при  $t = 0$   $Z_{11} = 50$  ;

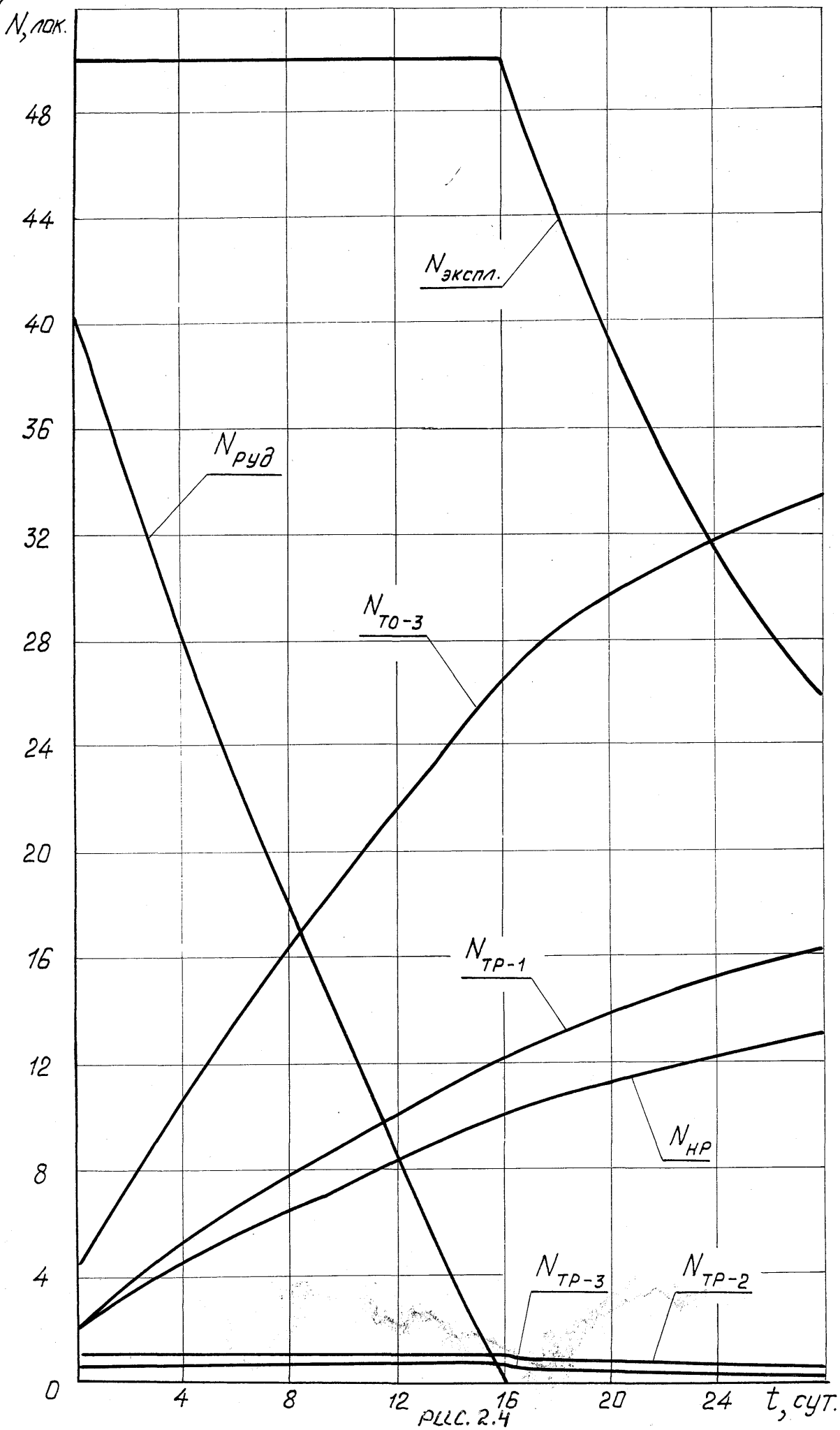
$Z_{12} = 40$ ;  $Z_{21} = 4$ ;  $Z_{22} = 2$ ;  $Z_{23} = 1$ ;  $Z_{24} = 1$ ;  $Z_{31} = 2$ .

Полученные в результате решения функции  $Z_{ij}(t)$  приведены на рис.2.4. Анализ полученных зависимостей  $Z_{ij}(t)$  показывает, что так как количество локомотивов в депо для проведения ТО-3, ТР-1 и НР возрастает, то требуемое количество локомотивов в эксплуатируемом парке остается постоянным до тех пор, пока оно пополняется локомотивами из РУД. После этого размер эксплуатируемого парка падает. Коэффициент технического использования локомотивного парка  $K_{ти}$  уменьшается по величине, причем интенсивность падения  $K_{ти}$  увеличивается, начиная с момента времени, когда  $N_{руА} = Z_{i2}(t) = 0$ . Начиная с этого момента времени  $K_{ти} = K_{г}$ . Коэффициент готовности  $K_{г}$  монотонно уменьшается по величине. Предельное равновесное состояние локомотивного парка в депо в этом случае при  $t \rightarrow \infty$  соответствует такому состоянию, когда весь парк практически будет находиться в депо на ТО, ТР и НР.

Таким образом, полученные системы дифференциальных уравнений на основании метода динамики средних, позволяют проанализировать состояние локомотивного парка депо в зависимости от степени сбалансированности его с мощностью ремонтной базы. Учитывая, что основной целью локомотивного депо

Изменение состояния локомотивного парка депо ( $N_{рз} = 100$ )

В)



локомотивами, целесообразно считать, что система: "локомотивный парк в распоряжении депо - ремонтные участки" функционирует устойчиво, если размер эксплуатируемого парка полностью соответствует заданным размерам движения. Для количественной оценки устойчивого функционирования такой системы целесообразно использовать коэффициент технического использования  $K_{ти}$  или коэффициент технической готовности локомотивного парка  $K_{г}$ , а ограничивающим условием являются показатели экономического характера, характеризующие качество функционирования исследуемой системы. Таким образом, для устойчивого функционирования системы величины  $K_{ти}$  и  $K_{г}$  не должны быть меньше соответствующих нижних границ допуска.

## 2.2. Исследование устойчивости состояний локомотивного парка депо

Исследуемая система "локомотивный парк в распоряжении депо - участки ТО и ТР" является динамической системой. Локомотивный парк депо, представляющий подсистему рассматриваемой системы, также является динамической системой. Одним из основных методов исследования динамических систем, как известно, является метод фазового пространства [83,84], который состоит в определении фазовых траекторий либо всей фазовой картины движения, характеризующей такие свойства системы, как существование и устойчивость установившихся режимов, характер переходных движений и другие. Наряду с этим методом целесообразно использовать критерии устойчивости (критерии Гурвица, Рауса и другие) [85-88]. Т.е. в данном случае устойчивость состояний локомотивного парка в распоряжении депо анализируется как устойчивость по Ляпунову.

Полученные результаты по изменению состояния локомотивного парка депо для принятия оптимальных управленческих решений целесообразно исследовать на устойчивость. Учитывая, что метод фазового пространства наиболее нагляден, если система дифференциальных уравнений, описывающая состояние локомотивного парка, имеет второй порядок, для которой фазовым пространством является

плоскость, сделаем следующие допущения. Взаимодействие состояний "эксплуатируемый парк - РУД" заменим пополнением или уменьшением эксплуатируемого парка, происходящим извне. Число локомотивов, вводимых или выводимых в единицу времени в эксплуатируемый парк из РУД, обозначим через  $n(t)$ . Величина  $n(t)$  может быть как постоянной, так и переменной, как зависящей, так и не зависящей от средних численностей состояний. Тогда условие нормировки будет иметь вид:

$$N_g(t) = N_0 + \int a(t)dt,$$

где  $N_0$  - начальное значение численности локомотивов.

Учитывая, что численность локомотивов на ТР-2 и ТР-3 ( $Z_{23}$  и  $Z_{24}$ ) меняются значительно медленнее, чем численность локомотивов, находящихся на ТО-3, ТР-1 и НР ( $Z_{21}$ ,  $Z_{22}$  и  $Z_{31}$ ), положим

$$\frac{dZ_i}{dt} \approx 0.$$

Состояния, когда локомотив находится на ТО-3, ТР-1 или НР, будем считать одним ремонтным состоянием, численность которого обозначим через  $Z_2(t)$ . Численность эксплуатируемого парка обозначим через  $Z_i(t)$ . Тогда состояние парка локомотивов будет описываться системой дифференциальных уравнений второго порядка:

$$\frac{dz}{dt} = -AZ_j + nZ_2 + a(t); \quad (2.4)$$

А для любого момента времени  $t$  будет выполняться условие

$$N_g(t) = Z_j(t) + Z_2(t) + \int_a^t a(t)dt,$$

Для случая, когда величина эксплуатируемого парка уменьшается до определенного уровня, а количество локомотивов, находящихся в РУД,

соответственно увеличивается от  $N_{v21}$  до  $N^*$  (рис. 2.2),  $st(t)$  можно представить

в следующем виде:

$$a(t) = \frac{N_0 - N^k}{N_{руд}^k} Z_{11}$$

Обозначим величину  $\frac{N_0 - N^k}{N_{руд}^k}$

Тогда  $X_0$  можно интерпретировать как интенсивность пополнения величины резерва.

$$\langle y(t) = -X_0 Z_{11} .$$

При этом зависимость  $N_{руж}(t)$ , предоставленная на рис. 2.2 и полученная путем численного интегрирования системы дифференциальных уравнений (2.1) хорошо аппроксимируется аналитической зависимостью вида

$$N(t) = N^k + (N^* - N^k)(1 - e^{-\pi t})$$

Если функционирование ремонтных участков организовано так, что интенсивность не зависит от численности состояния локомотивов, т.е.  $\pi = \text{const}$ , характеристическое уравнение для системы (2.4) будет иметь следующий вид

$$E(x) = \begin{matrix} \pi \\ -\pi - x \end{matrix} = 0 \tag{2.5}$$

Для асимптотической устойчивости системы (2.4) необходимо и достаточно, чтобы корни характеристического уравнения (2.5) имели отрицательные вещественные части. Запишем уравнение (2.5) в виде

Корнями данного характеристического уравнения являются

$$x_{1,2} = -\pi \pm \sqrt{\pi^2}$$

Тогда в соответствии с результатами, полученными Пуанкаре исследуемая система имеет устойчивый узел в фазовом пространстве  $(Z_1, Z_2)$ , а следовательно процессы, представленные на рис. 2.2 носят устойчивый характер.

При исследовании на устойчивость установившихся режимов состояний локомотивного парка, соответствующих рис. 2.3, интенсивность  $|L$  является функцией численности  $Z_2(t)$ . Величина  $Z_2(t)$  в этом случае, как указано ранее, ограничена  $Z_2(t) \leq n + m$ . Соответствующая система дифференциальных уравнений будет иметь вид

$$\begin{aligned} \frac{dZ_1}{dt} &= -XZ_1 + (H/(1 + Hmn_c))Z_2; \\ \frac{dZ_2}{dt} &= AZ_1 - (H/(1 + nm/X_c))Z_2. \end{aligned}$$

Корнями характеристического уравнения  $E(x)$  являются:

$$X_1 = 0; X_2 = -(A + \psi/(1 + \psi T/X_c)),$$

Таким образом, для исследуемой динамической системы особой точкой в фазовом пространстве является устойчивый узел, а установившиеся режимы (рис. 2.3) являются устойчивыми.

Исследование на устойчивость для рассматриваемых случаев проведено без непосредственного построения фазовых траекторий.

При исследовании на устойчивость состояний локомотивного парка, соответствующих рис. 2.4, интенсивность  $\psi$ , являясь функцией численности  $Z_2(t)$ , убывает неограниченно с ростом  $Z_2(t)$ .

Система дифференциальных уравнений для данного случая является нелинейной

$$\frac{dz}{dt} = \dots + (\psi/(1 + |i(Z_2 - n) / X_c))Z_2 + a(t); \quad (2.6)$$

$$\left\{ \frac{dz}{dt} \right.$$

где  $G(t) = A_0 Z_i$ ;  $A_0 = V(N^{\wedge} - N^{\wedge} y N^{\wedge})$ .

Построение фазовой картины на плоскости  $(Z_1, Z_2)$  при численном решении системы дифференциальных уравнений (2.6), определяет устойчивый фокус или центр с координатами  $(0, 100)$  для начальных условий, соответствующих рис. 2.4. Соответственно исследуемый процесс носит устойчивый характер.

### 2.3, Анализ изменения показателей устойчивого функционирования системы "локомотивный парк в распоряжении депо - участки ТО и ТР"

В соответствии с предложенным выше понятием устойчивого функционирования динамической системы "локомотивный парк в распоряжении депо - участки ТО и ТР" проанализируем изменение таких показателей как коэффициент технического использования локомотивного парка -  $K_{ти}$ , коэффициент технической готовности локомотивного парка -  $K_{г}$ , а также деповской процент неисправных локомотивов  $ОС_{дн}$ . Для принятых ранее обозначений численностей состояний локомотивного парка  $Z_{ij}(t)$  выражения для определения коэффициентов  $K_{ти}$  и  $K_{г}$  имеют следующий вид:

$$K_{ТН}(t) = \frac{Z_1(t)}{Z_1(t) + Z_2(t) + Z_3(t) + Z_4(t) + Z_{31}(t)};$$

$$K_{г}(t) = \frac{Z_3(t) + Z_{12}(t)}{Z_n(t) + Z_{12}(t) + Z_{21}(t) + Z_{22}(t) + Z_{23}(t) + Z_{24}(t) + Z_{31}(t)} = \frac{Z_n(t) + Z_{12}(t)}{N_{п,г}}.$$

Учитывая, что в соответствии с исследованиями на устойчивость численности  $Z_{ij}(t)$  достигают предельных значений при  $t \rightarrow \infty$ , а процесс их изменения носит устойчивый характер, тогда существуют следующие пределы

$$\lim_{t \rightarrow \infty} K_{ти}(t) = K_{ти}^{\text{ТМ}},$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} K_{г}(t) = K_{г}$$

Величины предельных значений  $K_{ти}$  и  $K_{г}$  зависят от значений интенсивностей  $\%_к$  и  $|1_к$ , входящих в системы дифференциальных уравнений (2.1, 2.3), т.е. определяются системой ТОР и организацией функционирования участков ТО и ТР.

На основании исследований, проведенных в МИИТе под руководством В.Д.Кузьмича [70]  $K_{ти} \in [0,88; 0,94]$  для случая, если интенсивности  $X_к$  и  $ц_к$  определяются в соответствии с нормативами межремонтных пробегов и простоев на ТО и ТР Приказа №28-Ц от 20.06.86г. Для этого случая и при условии, что величина грузопотока уменьшается до определенного предела (рис.2.2) изменение коэффициентов  $K_{ти}$  и  $K_{г}$  представлено на рис.2.5а, т.е. начиная с некоторого момента времени  $t_{К_{ти}} = K_{ти}, K_{г} = K_{г}$

Для случая, когда функционирование ремонтных участков ТО и ТР организовано так, что очередь локомотивов перед участками ТО и ТР ограничена величиной  $m$  (рис.2.3), изменение коэффициентов  $K_{ти}$  и  $K_{г}$  представлено на рис. 2.5б. В ЭТОМ случае также При  $t$  достаточно большом  $K_{ти} = K_{ти} \cdot K_{г} \cdot K_{г}$

Для случая, когда очередь локомотивов перед ремонтными участками может возрасти неограниченно (рис.2.4) изменение коэффициентов  $K_{ти}$  и  $K_{г}$  представлено на рис.2.5в, т.е.  $\lim_{t \rightarrow \infty} K_{ти} = 1$  и  $\lim_{t \rightarrow \infty} K_{г} = 0$ . Анализ результатов, приведенных на рис.2.5

показывает, что система "локомотивный парк в распоряжении депо - участки ТО и ТР" функционирует устойчиво, в смысле определения приведенного выше, если процесс изменения  $K_{ти}$  и  $K_{г}$  определяется в соответствии с рис.2.5а и 2.5б. Если процесс изменения коэффициентов  $K_{ти}$  и  $K_{г}$  происходит в соответствии с рис.2.5в, то начиная с некоторого момента времени  $t$ , когда величины  $K_{ти}$  и  $K_{г}$  становятся и остаются меньшими некоторой допустимой величины, исследуемая динамическая система функционирует неустойчиво.

Деповской процент неисправных локомотивов определяется выражением [5]

$$f_i + f_i + f_i + f_i + f_i$$

$$P_{DN} = \frac{f_{ТО-3} + f_{ТР-1} + f_{ТР-2} + f_{ТР-3} + f_{НР} \cdot 1}{N}$$

где  $f_i$  - фронт  $i$ -го вида ремонта локомотивов с учетом неплановых ремонтов.

Изменение показателей  $K_{\Gamma}$  и  $K_{ТИ}$ 

а)

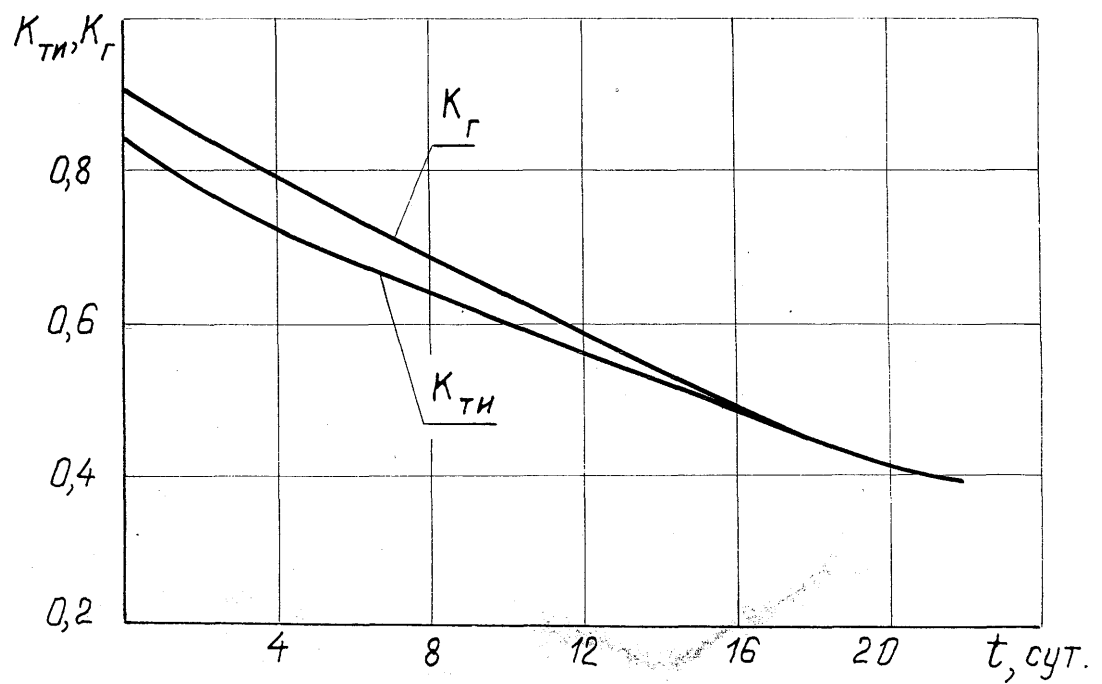
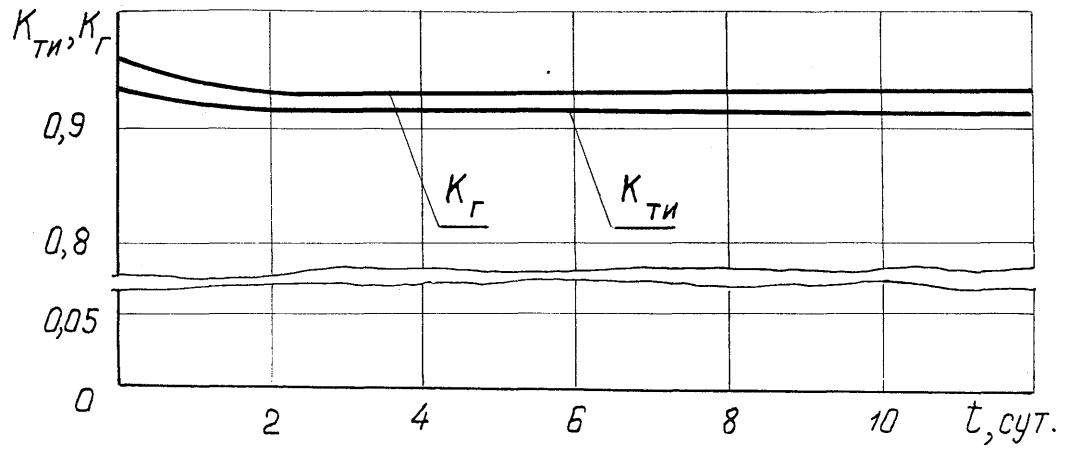
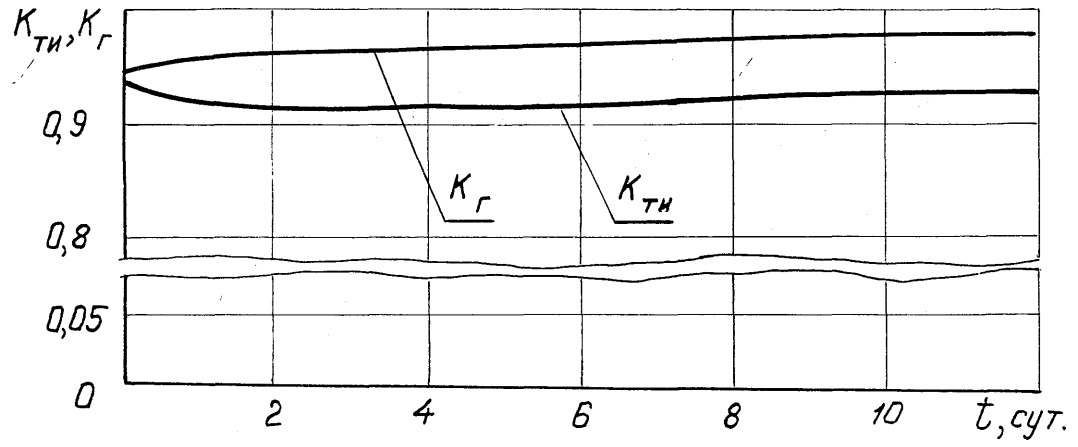


Рис.

Фронт ремонта  $f_i$  представляет собой число локомотивов одновременно ожидающих ремонта и находящихся в ремонтах, тогда в соответствии с принятыми обозначениями можно записать

$$f_{\text{ДН}} = \frac{(t) + Z_{22}(t) + Z_{23}(t) + Z_{24}(t) + Z_{31}(t) *}{N_{\text{ixрд}}}$$

Учитывая существование предельных установившихся значений численностей  $Z_{ij}(t)$ , запишем

$$l_{\text{ита}_{\text{ДН}}(0 = \ll \text{ДН.} \\ t \sim \gg \text{ОО}}$$

Для постоянных значений  $X_k$  и  $ц_k$ , соответствующих нормативам, заложенным в приказе №28-Ц, предельные значения  $Z_{ij}(t)$  таковы, что  $a_{\text{н}}^{\wedge}$  тепловозов = 6,5%, а  $ОС_{\text{н}}^{\wedge}$  электровозов = 3,5%.

В настоящее время в связи с уменьшением грузопотока предельные значения  $Z_{ij}(t)$  также уменьшились (рис.2.2), а следовательно величины  $ОС_{\text{ДН}}$  стали меньше заложенных в приказе №28-Ц. Так в результате анализа, проведенного по данным Укрзалізниці для тепловозов величина  $a_{\text{н}}^{\wedge}$  колеблется от 2,9% до 4,2% в настоящее время.

Если процесс изменения состояния локомотивного парка развивается в соответствии с рис.2.2 или рис.2.3, то предельная величина деповского процента  $a_{\text{н}}^{\wedge}$  становится меньше, чем нормативная в Приказе №28-Ц и конкретное значение  $a_{\text{н}}^{\wedge}$  определяется организацией проведения ТО и ТР в данном депо.

Если процесс изменения состояния локомотивного парка в распоряжении депо развивается в соответствии с рис.2.4 ( система "локомотивный парк в распоряжении ТО и ТР" ), то величина  $a_{\text{н}}^{\wedge}$  монотонно возрастает и стремится к 100%.

Рассмотренные показатели  $K_{ти}$ ,  $K_{г}$  и  $ОС_{дн}$  являются функциями фазовых координат  $Z_{ij}(t)$  и поэтому формально их можно определить как фазовые ограничения на решение (траектории) систем дифференциальных уравнений (2.1, 2.3) для принятия оптимальных управленческих решений.

Конкретное развитие процесса изменения состояний локомотивного парка, определяемое путем решения систем дифференциальных уравнений (2.1, 2.3), зависит от вида и величины интенсивностей  $X_k$  и  $ц_k$ . Интенсивности  $X_k$  не зависят от численностей  $Z_{ij}(t)$  и определяются действующей системой нормативных межремонтных пробегов и периодов. Интенсивности  $ц_k$  могут в общем случае зависеть от численности состояний  $Z_{ij}(t)$  и определяются характером и организацией проведения ТО и ТР на ремонтных позициях, процессом принятия управленческих решений руководством депо. Поэтому для обеспечения устойчивого функционирования исследуемой системы необходимо исследовать и решить задачи выбора оптимальных цикличностей и периодичностей ТО и ТР, адекватных условиям эксплуатации локомотивов, а также определить техническую политику управления процессами проведения ТО и ТР в депо.

Решение этих задач представлено в последующих разделах данной диссертации.

### **3. ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОЙ ЦИКЛИЧНОСТИ И ПЕРИОДИЧНОСТИ ТО И ТР ЛОКОМОТИВОВ.**

#### **3.1 Создание целевой функции суммарных затрат и способы определения её экстремума.**

В условиях рыночной экономики важным и актуальным направлением развития рентабельных и конкурентно способных локомотивных депо является создание оптимальной системы проведения технических обслуживаний и текущих ремонтов, позволяющей повышать надежность тягового подвижного состава при максимальной экономии трудовых, энергетических и финансовых ресурсов.

С учетом этого Главным управлением локомотивного хозяйства "УКРЗАЛІЗНИЦІ" проводятся работы по созданию новой нормативно-технической документации, регламентирующей техническое содержание локомотивного парка в условиях государственных железных дорог Украины.

Решение такой объемной и многофакторной задачи возможно только путем моделирования на ПЭВМ с созданием и оптимизацией по критериям (целевой функции), учитывающим приведенные выше экономические факторы.

При этом параллельно с решением такой задачи необходимо разрабатывать методы, позволяющие формировать адаптивные технологические процессы.

Таким образом, выбор оптимальной цикличности и периодичности ТО и ТР локомотивов с выполнением оптимального перечня работ на каждом ТО и ТР является важной технико-экономической задачей. Ее решение позволит увеличить эксплуатационную надежность локомотивов и вместе с тем снизить затраты ТО и ТР.

Учитывая, что поставленная задача носит оптимизационный характер, в качестве целевой функции целесообразно принять суммарные экономические издержки на выполнение плановых ТО и ТР, выполнение неплановых ремонтов, расход запасных частей, материалов, энергоресурсов, масла, трудовых ресурсов и диагностики

В такой постановке предлагается следующее математическое выражение для целевой функции  $Q(S, m_1, m_2, \dots, m_n)$ : [89-91]

$$Q(S, m_1, m_2, \dots, m_n) = S \sum_{j=1}^n (m_j R_j + C_j) P(m_j, S, j) + f_T(S, m_1, m_2, \dots, m_n) ST + f_M(S, m_1, m_2, \dots, m_n) SM + 2$$

где  $n$  - общее количество узлов (работ), которые осматриваются или ревизируются на ТО и ТР;

$S$  - межремонтный пробег;

$m_j$  - кратность выполнения  $j$ -го вида работ (над  $j$ -м типом оборудования), т.е.

$m_j * S$  - пробег локомотива до выполнения  $j$ -го вида работ;

$C_j$  - расходы на плановую работу по  $j$ -му узлу (в составе ТО и ТР) или его замену;

$R_j$  - полные расходы, связанные с отказом (НР)  $j$ -го узла;

$A$  - потери, связанные с простоем локомотива на ТО и ТР;

$f_T(S, m_1, m_2, \dots, m_n)$  - расход топлива в килограммах на 1 км при межремонтном пробеге

$S$  и кратности работ по  $j$ -му виду оборудования -  $m_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ );

(расход электроэнергии  $ВкВт \cdot ч$  на 1 км);

$f_M(S, m_1, m_2, \dots, m_n)$  - расход масла в килограммах на 1 км при межремонтном пробеге

$S$  и кратности работ по  $j$ -му виду оборудования -  $m_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ );

$P(m_j, S, i)$  - вероятность того, что за пробег  $m_j * S$  произойдет  $i$  отказов  $j$ -го вида оборудования;

$D$  - расходы, связанные с проведением диагностических операций;

$ST$  - стоимость 1 кг топлива или 1 кВт электроэнергии;

$SM$  - стоимость 1 кг масла.

Учитывая, что  $\sum_{i=0}^{\infty} i P(i, m_j, S)$  - математическое ожидание числа отказов  $j$ -го

вида оборудования в течение пробега  $m_j * S$ , обозначим его через  $M_j(T(m_j * S))$ ,

где  $T(S)$  - время, соответствующее пробегу  $S$ . Тогда

$$Q(S, m_1, m_2, \dots, m_n) = X \sum_{i=1}^n (R_i M_j(T(m_j * s)) + C_j) + f_T(S, m_1, m_2, \dots, m_n) * ST + f_M(S, m_1, \dots, m_n) * SM + \dots$$

Функция  $M_j(t)$  называется функцией восстановления [92], причем

$$M_j(t) = \sum_{n=1}^{\infty} X F_j^n(t) \text{ где } F_j^n(t) = \int_0^t f_{j;n-1}(t-T) dF_j(T)$$

$F_{ji}(t) = F_j(t)$  - функция распределения времени безотказной работы  $j$ -го вида оборудования.

Анализ выражения целевой функции  $Q(S, m_1, m_2, \dots, m_n)$  показывает, что затраты зависят от типа закона распределения времени безотказной работы  $j$ -го вида оборудования локомотивов, его параметров и соотношения затрат. Т.е. суммарные затраты являются функцией рабочих свойств локомотивов, заложенных на стадии создания нагрузок, являющихся следствием конкретных условий эксплуатации и режимов работы, а также параметров системы ремонта ТПС. При этом условия эксплуатации существенно отличаются друг от друга. Это проявляется в различном состоянии, плане и профиле пути, скоростях движения, весовых нормах, климате и др. Все названные факторы значительно влияют на процесс функционирования локомотивов. Даже в пределах конкретного участка обращения условия эксплуатации локомотивов одной серии различны. Следовательно, наработка узлов и деталей является случайной величиной. Т.е. изменения в материалах узлов и деталей, происходящие на микроуровне, проявляются через различие макропараметров.

Итак, учитывая, что большинство параметров, характеризующих эксплуатационную работу, ремонт, техническое обслуживание и надежность ТПС, носят случайный характер, то для их полного описания требуется знать закон распределения длительности безотказной работы отдельных узлов локомотивов, задаваемых функцией  $F_j(t)$  или ее плотностью  $f(t) = F'_j(t)$ .

В основополагающих трудах теории надежности [3,41,49,92-101] убедительно доказано, что существует связь между видом отказа элемента и видом закона распределения длительности работы до отказа. С этой целью целесообразно

проводить систематические исследования по установлению законов распределения и их параметров для различных узлов локомотивов. В работах [49,56,58] получены наиболее типичные законы распределения длительности работы до отказа деталей локомотивов.

Учитывая, что согласно ГОСТ 27.002-89, отказы подразделяются на внезапные и постепенные, в этой градации целесообразно рассматривать и законы распределения времени безотказной работы.

В теории надежности установлено, что длительность безотказной работы при внезапных отказах подчиняется экспоненциальному закону распределения

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t) \quad \text{и} \quad f(t) = \lambda \exp(-\lambda t),$$

где  $\lambda = \text{const}$  - интенсивность отказов.

При этом, схема формирования потока отказов в идеальном случае отрицает необходимость выполнения профилактических замен элементов или их периодического ремонта. Целевая функция  $Q(S, m_1, m_2, \dots, m_n)$  в этом случае не имеет оптимума. Поскольку причиной отказа является внешнее случайное воздействие, а свойства элементов неизменны, то замена старого элемента новым не изменяет момента наступления отказа при пике нагрузки. Повышение надежности в этом случае можно достигнуть улучшением конструкции.

В случае постепенных отказов основное место занимает изнашивание (старение), поскольку все элементы и узлы претерпевают в течение периода эксплуатации необратимые изменения (зазоры, прочность изоляции, размеры детали и др. изменяют свои значения). Общим для всех этих случаев является то, что в отличие от внезапных отказов, интенсивность отказов от износов не остается постоянной с течением времени, т.е.  $\lambda = X(t)$ . Вид реализации износа отдельных элементов или узлов локомотива выражает в конечном счете вероятностные связи всего процесса работы всех объектов. Но в целом функция  $X(t)$  зависит от класса реализации износа. Если интенсивность  $X(t) = X^*t$ , т.е. увеличивается прямо пропорционально времени  $t$ , то распределение наработки до отказа у таких узлов хорошо описывается законом Релея.

Когда интенсивность отказа  $\lambda(t)$  возрастает асимптотически, т.е. имеет некоторый предел, то получается закон распределения Эрланга. Если интенсивность отказов связана с наработкой нелинейно по некоторой степени зависимости, то имеет место закон распределения наработки до отказа в более общем виде - закон Вейбулла-Гнеденко, из которого при некоторых значениях параметров можно получить закон Релея и экспоненциальный закон. В теории надежности этот закон применяется довольно часто, так как может быть использован для описания распределения времени безотказной работы многих реальных систем. Особенностью таких систем является наличие большого числа одинаковых и близких по конструкции элементов, находящихся в равных условиях эксплуатации.

В теории надежности большое значение придается модели износов узлов, приводящей к нормальному закону. Нормальный закон

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}$$

описывает модель накапливающихся повреждений при однородном качестве объектов, постоянной средней скорости изнашивания и различном сочетании реализаций износов. Интенсивность отказов при нормальном распределении - возрастающая функция. Значения интенсивности отказов  $\lambda(t)$  и плотности вероятностей при  $t > 3,5$  весьма малы на достаточно большом интервале  $0 - t_i$ . Вероятности отказа в этом интервале также малы, что говорит о важности профилактических мероприятий (замен, ремонтов) на небольших уровнях износа. Например, известно, что нормальному закону подчиняется распределение наработки моторно-осевых подшипников (МОП) до отказа, признаками которого являются предельный зазор по износу или разрушение баббитовой заливки. Однако параметры этого закона (средняя наработка до отказа и среднее квадратическое отклонение) существенно зависят от состояния технологии изготовления деталей МОП, сборки этой сборочной единицы при формировании колесно-моторного блока, технического обслуживания, качества смазки и условий токоотвода.

В теории надежности часто встречается модель, приводящая к гамма-распределению, которое при некоторых значениях параметров сводится к нормальному закону.

Рассмотрение изложенных моделей показывает, что они охватывают достаточно большой круг возможных схем развития процессов возникновения отказов и в первом приближении могут сводиться к следующим законам распределения времени безотказной работы:

- закону Вейбулла-Гнеденко:  $f(t) = \rho c * P * t^{\rho-1} * \exp(-\rho c * t^{\rho})$

- нормальному закону:  $f(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(t-a)^2}{2\sigma^2}\right)$

- гамма распределению:  $f(t) = \frac{\rho^m}{\Gamma(m)} t^{m-1} \exp(-\rho t)$

Среди узлов локомотивов, подверженных постепенному износу, регулировке, имеется ряд деталей и сборочных единиц, изменение состояния которых приводит к понижению экономичности, хотя и не вызывает явного отказа. При выходе параметра износа такого узла за пределы допуска в период между плановыми ремонтами будет повышаться удельный расход топлива или электроэнергии и масла, что вызовет увеличение затрат за время эксплуатации до полного ремонта (регулировки). Для таких элементов оптимальным следует считать такой межремонтный период, который обеспечивает минимум указанных затрат. Для этого в выражении для целевой функции  $Q(S, m_1, m_2, \dots, m_n)$  предусмотрены слагаемые:

$$f_T(S, m_1, m_2, \dots, m_n) * ST \text{ и } f_M(S, m_1, m_2, \dots, m_n) * SM.$$

Функции  $f_T(S, m_1, m_2, \dots, m_n) * ST$  и  $f_M(S, m_1, m_2, \dots, m_n) * SM$  могут быть определены методом корреляционного анализа по данным эксплуатации и ремонта. Изменение (увеличение) расхода топлива и масла может быть аппроксимировано полиномом первой или второй степени.

Сформулированная в такой постановке задача, позволяет определить для каждого узла локомотива оптимальный межремонтный пробег  $S_{opt}$  и по минимуму

затрат целевой функции  $Q(S, m_1, m_2, \dots, m_n)$  сформировать оптимальную периодичность проведения ТО и ТР. Однако, помимо этого необходимо определить глубину воздействия на каждый узел локомотива при выполнении ТО и ТР, т.е. сформировать соответствующий перечень работ. При решении задачи оптимизации периодичности ТО и ТР, следует иметь в виду, что отыскание минимума целевой функции  $Q(S, m_1, m_2, \dots, m_n)$  в явном виде невозможно (многие функции разрывны, что не дает возможность отыскать их производные стандартными методами математического анализа).

В случае, когда ремонт после отказа  $j$ -го вида оборудования не меняет характеристик надежности этого оборудования, для функции  $M_j(t)$  воспользуемся следующим выражением:

$$M_j(t) = e^{-\lambda_j t} \quad (3.1)$$

(здесь  $\lambda_j$  — интенсивность отказа  $j$ -го вида оборудования).

Формула является следствием того факта, что при сделанных допущениях условная вероятность отказа оборудования в промежутке времени  $[t, t + \Delta t]$  при условии, что до момента  $t$  отказа не было равна безусловной вероятности, т.е. интенсивность отказов совпадает с плотностью восстановления.

Отметим, что аргументы  $m_1, m_2, \dots, m_n$  функции  $Q$  не определяются классическими методами отыскания экстремума. Более того, если считать аргументы функции  $Q$  непрерывными, то она вообще не имеет экстремумов. Действительно, составим систему уравнений

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial S} &= 0; \\ \frac{\partial Q}{\partial m_j} &= 0, \quad j = 1, 2, \dots, n. \end{aligned}$$

Обозначив  $t_j = T(m_j, S)$ ,  $S_j = m_j \cdot S$ , получим

$$\sum_{j=1}^n \left[ -\frac{1}{m_j S} (R_j \cdot M_j(t_j) + C_j) + R_j \frac{dM_j}{dt_j} \cdot \frac{dT}{dS_j} \right] = B(S) \quad (3.2)$$

$$\text{где } B(S) = \frac{1}{O} + f_T(S, m_1, m_2, \dots, m_n) * S^T + f_J(S, m_1, m_2, \dots, m_n) * S^M + \dots; \quad O$$

$$\frac{1}{n_j S^{\lambda_j}} \left( \frac{R}{M} \frac{dM}{dt_j} + C_i \frac{dM}{dS_j} \right) - 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3.3)$$

Просуммировав уравнения (3.3) по  $j = 1, 2, \dots, n$ , получим противоречие с уравнением (3.2), так как  $B(S) \neq 0$ .

Отыскание минимума функции  $Q$  простым перебором представляет собой большую по объему работу. Так, при  $n = 10$  и  $m_j = 1, 2, 3$  даже без учета пробега  $S$ , получается перебор 57600 вариантов.

С учетом этого предлагается приближенный, однако быстро ведущий к цели метод минимизации функции  $Q(S, m_1, m_2, \dots, m_n)$ . Минимизация распадается на два этапа. На первом этапе для каждого номера) находим значение  $S^{opt}$ , доставляющее минимум функции

$$Q_j(s_j) = \wedge^{(R_j * M_j * (T(s_j) > c_j))}. \quad \langle 3-4 \rangle$$

На втором этапе находим  $S^{opt}$  - оптимальный пробег между ТО или ТР для всего локомотива в целом. При этом функция  $Q$  становится функцией одного переменного  $S$ , так как в качестве  $m_j$  можно взять

$$E\left(\frac{S_j^{opt}}{S}\right), \quad \text{если } \frac{s^{opt}}{S} \text{ и } n_j = 1, \quad \text{ли } \frac{S_j^{opt}}{S} < (E(X) - \text{целая часть числа } X).$$

Рассмотрим подробно первый этап. Для нахождения минимума функции  $Q_j(S_j)$  приравняем к нулю ее производную. После преобразования получаем уравнение

$$\frac{dT}{dS_j} * \frac{dM}{dt_j} - I - K_1 \Pi \Delta T K_1 \Pi - C_1 = 0, \quad // W \quad (3.5)$$

из которого находим  $S_j = S_j$ . Основная трудность при этом состоит в нахождении функции  $M_j(t_j)$  и ее производной. Рассмотрим здесь два важных случая: гамма-распределения и нормального распределения времени безотказной работы  $j$ -го вида оборудования.

Пусть время безотказной работы  $j$ -го вида оборудования подчинены гамма-распределению с плотностью вероятности

$$f_j(t_j) = \frac{\lambda^m * t_j^{m-1}}{(m+1)!} * \exp(-\lambda t_j) \quad (\text{ш - целое число})$$

Тогда

$$M_j(t_j) = \frac{1}{m} * \lambda t_j + \frac{\lambda}{8-1} * \frac{\Gamma(6-0)}{\Gamma(1-1)} * \frac{O^{m-1}}{e^{T-1}-1}$$

$$dM_j - x \quad \frac{1}{1+s} * \lambda t_j^{(s-1)}, \quad + S^{m-1}$$

$$dt_j \tau$$

где  $\delta = \cos \frac{2T_1 \dots 2T_C}{h_i * \sin \frac{2TC}{m}}$

Уравнение (3.5) приобретает вид

$$R; * S; * \int \int dS_j m L * (1 + \delta * e^{-\lambda t_j(s-1)})^{m-1} * e^{-\lambda t_j}$$

$$\int_m \int_{8-1} \int_{8-1}^{i \lambda p 4^{(g-i)}} \int_{8-1}^{m-1} * e^{-\lambda t_j} * e^{-\lambda t_j}$$

и может быть решено численно.

Для нормального распределения времени безотказной работы  $j$ -го вида оборудования имеет место следующая формула:

$$M_j(t_j) = \sum_{n=1}^{\infty} \left( \frac{1}{2} + \Phi \left( \frac{t_j - n * T_j}{\sigma_j * \sqrt{n}} \right) \right),$$

где  $\Phi(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^X e^{-t^2/2} dt$  - функция Лапласа

$T_j$  - средняя наработка на отказ  $j$ -го вида оборудования;

$Q_j$  - среднее квадратическое отклонение.

$$Q_j = T_j / \sqrt{2}$$

Уравнение (3.5) приобретает вид

$$R_j \int_{S_j} \frac{dT}{dS_j} \exp\left(-\sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{t_j - n \cdot T_j}{\sigma_j \cdot \sqrt{n}}\right)\right)\right) - C_j = 0$$

и может быть решено численно.

Рассмотрим теперь случай, когда после отказа  $j$ -го вида оборудования производится ремонт, не обновляющий характеристики надежности этого оборудования. В этом случае необходимо воспользоваться формулой (3.1). Но прежде чем подставить (3.1) в (3.5) сделаем в интеграле (3.1) замену переменной  $t = T(S)$  и проинтегрируем по частям. Получим

$$M_j C_j \frac{dT}{dS_j} = S_j \int_0^{S_j} (T(S)) \cdot J_j \cdot (X_j(T(S)) T'(S))' dS$$

и после подстановки в (3.5) имеем:

$$\int_0^{S_j} f(S) \cdot (k_j(T(S)) \cdot T'(S)) dS = \frac{C_j}{R_j} \quad (3.6)$$

Уравнение (3.6) для некоторых распределений может быть решено в конечном виде. В частности, если время безотказной работы  $j$ -го вида оборудования подчинено закону распределения Вейбулла и  $T(S) = KS$ , то уравнение (3.6) приобретает вид:

$$\alpha_j \cdot \beta_j \cdot (\beta_j - 1) \cdot K^{\beta_j - 1} \cdot \int_0^{S_j} S^{\beta_j - 1} dS = \frac{C_j}{R_j},$$

$$S_j^{\text{opt}} = \left( \frac{C_j}{\alpha_j \cdot (\beta_j - 1) \cdot K^{\beta_j} \cdot R_j} \right)^{1/\beta_j},$$

где  $\alpha_j, \beta_j, R_j$  - параметры распределения Вейбулла.

Учитывая проведенный выше анализ и исследования, приведенные в [49,89,90], наиболее универсальным законом распределения времени безотказной работы узлов локомотивов является закон распределения Вейбулла-Гнеденко. Этот закон при определенном соотношении его параметров включает целый ряд других законов, которые применимы к процессам износа узлов локомотивов, а также учитывает

фактор старения. С учетом этого целесообразно более детально рассмотреть оптимизацию предлагаемой целевой функции суммарных экономических затрат (т.е. определить оптимальные межремонтные пробеги) для случая определения вероятностей отказа через функцию распределения Вейбулла-Гнеденко.

Плотность распределения Вейбулла имеет вид:

$$f_j(t) = \text{OC}_j * p_j * \exp^{-\text{OC}_j t^{\beta_j}}$$

где  $\text{OC}_j, \beta_j$  - числовые параметры, причем  $\beta_j > 1$  (случай старения).

Математическое ожидание и дисперсия случайной величины  $T$  - времени безотказной работы данного узла связаны с параметрами  $\text{OC}_j, \beta_j$ , следующими

соотношениями:

$$M_j(t) = \Gamma\left(\frac{1}{\beta_j} + 1\right) * \alpha_j^{-1/\beta_j} \quad (3-7)$$

$$E_{>j}(t) = \frac{\Gamma\left(\frac{2}{\beta_j} + 1\right) * \Gamma^2\left(\frac{1}{\beta_j} + 1\right)}{\alpha_j^{2/\beta_j}}, \quad (3-8)$$

где  $\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} * e^{-t} dt$  - Гамма-функция,

Точное определение параметров  $\text{OC}_j$  и  $p_j$  из системы уравнений (3.7), (3.8) невозможно. Поэтому предлагается использовать следующий приближенный способ.

Определяем коэффициент вариации

$$\frac{JD(T)}{M(T)}$$

$$M(T)$$

и по табл. [92] находим  $\beta_j$  и  $\Gamma$  ----- hl , а затем определяем по формуле:

$$\frac{\left( \Gamma\left(\frac{1}{\beta_j} + 1\right) \right)^{\beta_j}}{M_j(T)}$$

Определим оптимальный межремонтный пробег для узла, время безотказной работы которого подчинено закону распределения Вейбулла при условии, что после отказа этого узла производится ремонт, не меняющий характеристики надежности этого узла до отказа. В этом случае плотность восстановления совпадает с интенсивностью отказа:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{M(t)}$$

где  $M(t)$  - функция восстановления.

Известно [92], что интенсивность отказа для распределения Вейбулла имеет вид:

$$\lambda_j(t) = \alpha_j \beta_j t^{\beta_j - 1} \quad (3.9)$$

Выбрав в качестве независимой переменной время, запишем основное уравнение (3.5) для определения оптимального периода между ТО и ТР (для данного узла)

$$R_j \int_0^T \lambda_j(t) dt - R_j \lambda_j(T) T - C_j = 0, \quad (3.10)$$

где  $K_i$  - полные расходы, связанные с отказом данного узла;

$C_j$  - расходы на плановую работу, связанную с данным узлом.

Подставляя (3.9) в (3.10) после преобразований получим уравнение:

$$R_j \alpha_j \beta_j \int_0^T t^{\beta_j - 1} dt - R_j \alpha_j \beta_j T^{\beta_j} - C_j = 0,$$

из которого находим

$$\left( \frac{C_j}{\alpha_j \beta_j (\beta_j - 1) R_j} \right)^{\frac{1}{\beta_j}}$$

Зная  $t^{\text{opt}}$ , не представляет труда найти  $S^{\text{opt}}$  - оптимальный межремонтный пробег:

$$Q^{\text{opt}} = V \cdot t^{\text{opt}}$$

где  $V_{усп}$  - условная средняя скорость локомотива.

Отметим, что при допущении совпадения интенсивности отказов и плотности восстановления можно показать, что минимизация целевой функции  $Q_j(S_j)$  равносильна максимизации коэффициента готовности  $j$ -го вида оборудования (если считать, что величины  $C_j$  и  $R_j$  пропорциональны соответственно времени проведения профилактики  $j$ -го вида оборудования и времени его ремонта в случае отказа).

Рассмотрим теперь второй этап минимизации функции  $Q$ . Как уже было предложено, положим:

$$m_j(S) = E \left( \frac{S_j^{opt}}{S} \right) \quad \text{если} \quad S_j^{opt} \\ n_{ij}(S) = 1, \quad \text{если} \quad S < S_j^{opt}$$

Функция  $Q$  становится функцией одного переменного  $S$

$$Q(S) = \sum_{j=1}^n \frac{C_j}{m_j(S) \cdot S} + (R \cdot J \cdot M_j(T(m_j(S) \cdot S) > C_j) > \\ + \wedge + f_T(S) \cdot ST + f_M(S) \cdot SM + P$$

В силу того, что эта функция не является непрерывной, ее минимизацию целесообразно проводить перебором значений  $S$  с шагом 1000 км  $\geq S \geq 500$  км. Выбор такого шага объясняется тем, что в настоящее время межремонтные пробеги локомотивов определены соответствующими документами с точностью до 1000 км, а наработки на отказ оборудования также, как правило округляются до 1000 км. Поэтому выбранная величина шага позволяет получить максимально возможную степень приближения результатов к действительному минимуму.

Целевая функция для определения оптимального межремонтного пробега и оптимального перераспределения работ между ТО и ТР для случая распределения времени безотказной работы по закону Вейбулла:

$$Q(S, m_1, m_2, \dots, m_n) = X \sum_{j=1}^n \left( R_j * M_j * S^{\alpha_j} + C_j \right) + f_T(S, m_1, m_2, \dots, m_n) * ST + f_M(S, m_1, m_2, \dots, m_n) * SM + A.$$

При сделанных ранее допущениях для закона Вейбулла

$$M_j(t) = a_j * t^{\beta_j} \quad j = 1, 2, \dots, n$$

и целевая функция Q принимает вид:

$$Q(S) = X \sum_{j=1}^n \left( R_j * a_j * S^{\alpha_j} * \beta_j * S^{\beta_j - 1} + C_j \right) + \frac{A}{S} +$$
(3.11)

$$+ f_T(S, m_1, m_2, \dots, m_n) * ST + f_M(S, m_1, m_2, \dots, m_n) * SM + \dots$$

Как указано выше, минимизация функции  $Q(S, m_1, m_2, \dots, m_n)$  традиционными методами невозможна, поэтому используется приближенный метод минимизации который применительно к данному случаю заменяет функцию многих переменных (3.11) на функцию одного переменного

$$Q(S) = Q(S), \quad S_{opt} = \left[ \frac{S}{S_n^{opt}} \right]^{-1}$$

где  $S^{opt}$  - оптимальный межремонтный пробег, найденный для j-го узла.

Согласно ранее приведенному

$$S_j^{opt} = V_{усл} * \left( \frac{C_j}{R_j * \alpha_j * (\beta_j - 1)} \right)^{\frac{1}{\beta_j}} \quad j = 1, 2, \dots, n;$$

[b] - целая часть числа b.

Минимизация функции  $Q(S)$  может быть проведена перебором по S с шагом  $vS$ .

Целесообразно также отметить, что приведенный способ оптимального перераспределения работ не является единственным. Можно номер ТО или ТР в котором будет выполняться j-й вид работ выбирать так: это будет наибольший номер

ТО или ТР (пробег между ТО или ТР считается известным) для которого время его выполнения не превосходит  $t_1 + t_2$ , где  $t_1$  - момент отказа  $j$ -го вида оборудования, а  $t_2$  - оптимальная сдвигка во времени, найденная из условий минимума средних, приведенная к 1 км пробега, затрат на ремонтные и профилактические работы. Однако такой способ имеет недостаток - невозможно заранее составить планы работ по ТО и ТР.

Итак, с учетом приведенного выше целесообразно использовать пошаговый метод отыскания минимума, изменяя пробег  $S$  от  $S_{min}$  до  $S_{max}$  с шагом  $vS$ . Очевидно, что  $S_{min}$  должен быть не меньше длительности (пробега) непрерывной работы локомотива (время оборота) и не более наименьшего межремонтного пробега  $j$ -го узла ( $S^{opt}$ ). Величина  $S_{max}$  должна соответствовать и отождествляться с глубиной воздействия:

$S_{max}$  - период проведения профилактических и контрольно-диагностических работ без демонтажа с локомотива;

$S_{max}$  "  $S_{рок}$  службы с учетом восстановления в заводских, специализированных условиях;

$S_{max}$  " полный срок службы сборочной единицы до замены (списания) без последующего восстановления.

Перебор величин для совокупности всех  $j$ -х узлов локомотива по целевой функции  $Q(S, m_1, m_2, \dots, m_n)$  позволит определить ее глобальный минимум, т.е. решить задачу выбора оптимальной периодичности, цикличности и объемов работ на ТО и ТР.

Естественно, что для определения  $S_{max}$  необходимо иметь методику прогнозирования ресурсов (назначенного и остаточного) для каждого  $j$ -го узла локомотива.

Для этого целесообразно использовать следующие методы:

- определить зависимости изнашивания (старения) объекта в эксплуатации от пробега  $S$ , т.е.  $CY = cy(S)$  на основании статистических данных (замеров);

- определить корреляционные зависимости всех видов неплановых затрат  $R$  (на сверхцикловые работы, неплановые ремонты и неплановые замены узлов) в зависимости от пробега  $S$ , т.е. найти  $R = R(S)$  и считать, что  $R$  пропорционально ст.

Для наглядности последовательности выполнения всех этапов работ предлагается структурная схема на рис. 3.1.

Учитывая трудоемкость и большой объем работ, данная методика реализована на ПЭВМ [91],

На рис. 3.1 приведена укрупненная структурная схема реализации данной методики. Начальным этапом предлагаемого алгоритма является определение эмпирических зависимостей износов деталей локомотивов от пробега  $st = st(S)$  и зависимостей стоимостей неплановых ремонтов от пробегов  $R = R(S)$ .

Таким образом, все детали и узлы подразделяются на две группы : 1) те, которые подвержены постепенному износу (старению), т.е. контролируются по предельно допустимой величине износа  $c(S)$  и 2) те, которые подвержены внезапным отказам, стоимость устранения которых целесообразно описать корреляционной зависимостью  $R(S)$ . Наличие этих зависимостей необходимо для выбора оптимальной периодичности проведения ТО и ТР, т.е. назначения пределов варьирования  $S_{j_{\max}}$ , где:  $i = 1$  - периодичность проведения ТО-3;  $i = 2$  - ТР-1;  $i = 3$  - ТР-2;  $i = 4$  - ТР-3. Исходными данными для определения зависимостей  $c = c(S)$  и  $R = R(S)$  являются  $k$  одномерных массивов  $S_k(I), c_k(I), R_k(I)$ , где  $k = 1 \dots N$  - количество контролируемых деталей и узлов локомотивов;  $l=1 \dots N_1 \dots N_2$  - количество экспериментальных точек по каждой детали. В качестве методики определения вида зависимости целесообразно использовать метод наименьших квадратов. Задаваясь значениями предельно допустимых износов  $a^{\max}$  и расходов на НР -  $R^{\max}$  выбираем по полученным эмпирическим зависимостям  $c = c(S)$  и  $R = R(S)$  значения  $S_{j_{\max}}$  и формируем одномерный массив  $S_{\max}(k)$ . Среди сформированного массива  $S_{\max}(k)$  ( $k = 1 \dots N$ ) выбираем максимальное значение и его

Укрупненная структурная схема определения оптимальной цикличности, периодичности и объемов работ на ТО и ТР

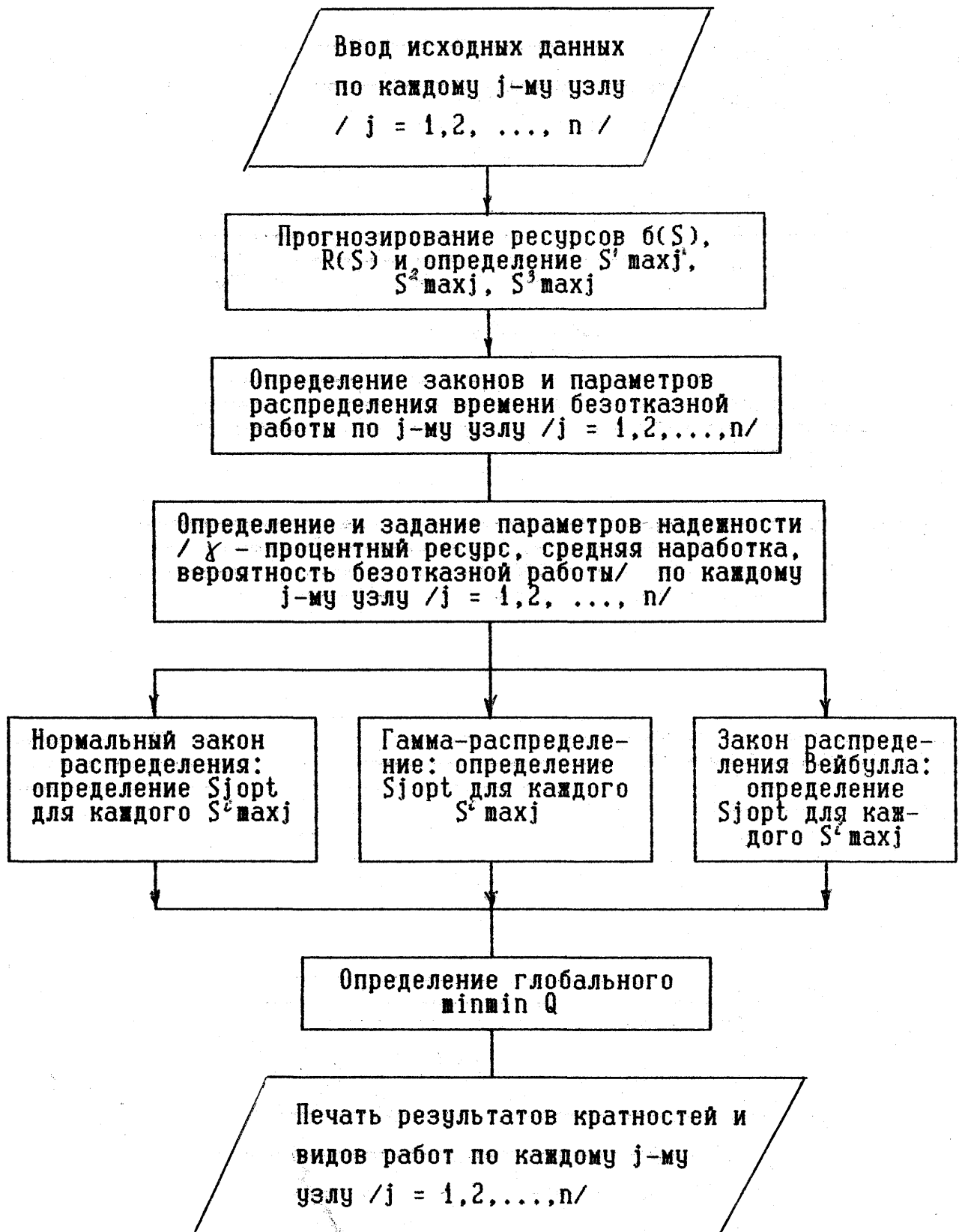


Рис. 3.1

назначаем в качестве верхнего предела варьирования при моделировании оптимальной цикличности и периодичности ТО и ТР для всего локомотива в целом.

Для реализации самого механизма моделирования оптимальной цикличности и периодичности ТО и ТР необходимо установить вид закона распределения наработки на отказ, от которого зависит вид целевой функции  $Q$ . Для этого проверяем для каждой детали массив исходных данных  $S(I)$  на соответствие основным законам распределения - нормальному, Вейбулла или Гамма-распределению по критерию  $\chi^2$ -Пирсона. В зависимости от вида закона распределения сортируем все узлы и детали на группы.

При определении оптимальной цикличности и периодичности ТО и ТР для узлов, наработка на отказ которых подчиняется нормальному распределению, в работе [52,56] использован метод динамического программирования.

В данной работе предлагается использовать метод перебора с оптимизацией по целевой функции  $Q$ , приведенной выше. Пределы варьирования  $S_{\min}^{\wedge}$  и  $S_{\max}^{\wedge}$  для обоих случаев определены ранее. Таким образом, формируется перечень операций ТО и ТР и моделируется оптимальная структура цикличности и периодичности. Перечень операций является основой для формирования технологической документации. ,

Данная методика реализована программно на алгоритмических языках "Бейсик" и "ФОРТРАН-IV".

### **3.2 9 Алгоритм построения оптимальной системы**

#### **ТОР локомотивов**

На основании предложенной методики определения межремонтных пробегов с оптимизацией по целевой функции, учитывающей эксплуатационную надежность, трудоемкость ТО и ТР, затраты на энергоносители и пробег между ТО и ТР , разработана программа на алгоритмических языках ФОРТРАН-IV и Бейсик и реализована на ПЭВМ. Программа предусматривает для каждого дискретно

изменяющегося межремонтного пробега  $S$  /от заданного  $S_{MIN}$  до  $S_{MAX}$  с шагом  $yS$ / расчет кратности выполнения  $M(1)$  очередной работы, подлежащей перераспределению по номерам ТО и ТР внутри цикла между двумя последовательными ТР. Для каждого пробега  $S$  и соответствующих вариантов кратности работ производится расчет целевой функции, учитывающей показатели надежности и экономичности работы локомотивов. Оптимальная периодичность и цикличность технологического процесса ТО и ТР и перечень операций выбирается по минимальному значению целевой функции  $Q$ . Рассмотрим более подробно отдельные блоки программы. Укрупненная структурная схема программы для случая распределения наработки на отказ по закону Вейбулла (решение может быть найдено в конечном виде, а не численно) приведена на рис.3.2 в терминах идентификаторов программы.

Исходные данные блока 1 представляют собой ряд констант, характеризующих серию локомотивов и условия их эксплуатации.

Исходными статистическими данными блока 2 являются одномерные массивы затрат на плановые работы и неплановые ремонты /  $C(I), R(I)$  /, а также средние наработки  $E(1)$  и их среднеквадратические отклонения  $SQ(I)$ . Индекс  $I$  изменяется от  $I = 1$  до  $N$ , где  $N$  - число работ в технологическом процессе, подлежащих перераспределению.

Блоком 3 согласно структурной схеме на рис.3.2 предусмотрено определение параметров распределения Вейбулла  $A(1)$  и  $B(1)$ . Этот этап реализован в подпрограмме VBL.

В этой подпрограмме записана таблица из двух одномерных массивов размерностью  $J_{max} = 36$  - массив коэффициентов вариации  $V2(J)$  и массив параметров распределения Вейбулла  $B2(J)$ . На основании опытных данных, представленных массивами  $E(1)$  и  $SQ(I)$ , определяется опытный коэффициент вариации для каждого  $I$ -го узла локомотива -  $VAR = (SQ(I))/(E(I))$ , который сравнивается путем перебора с  $V2(J)_n$  выбирается ближайшее табличное значение  $V2(J)$ . Этому значению  $V2(J)$  соответствует табличное значение  $B2(J)$ , которое будет приближенным значением  $B(1)$ . Значение параметра распределения Вейбулла  $A(1)$  определяется через Гамма-

Структурная схема алгоритма определения оптимальной цикличности и периодичности и формирования перечней операций ТО и ТР

Ввод исходных данных:	1
U - среднетехническая скорость	
AI - потери от простоя на ТО или ТР	
RTI - расход топлива, электроэнергии	
RMI - расход масла	
CT - стоимость топлива, эл. энергии	
CM - стоимость масла	

Ввод массивов:	2
Iжах - N - количество работ, подлежащих перераспределению	
E(I) - средняя наработка	
S0(I) - ср. квадратическое отклонение наработки	
CC-I) - расходы на плановые работы при ТО или ТР	
R(I) - расходы на НР	



5

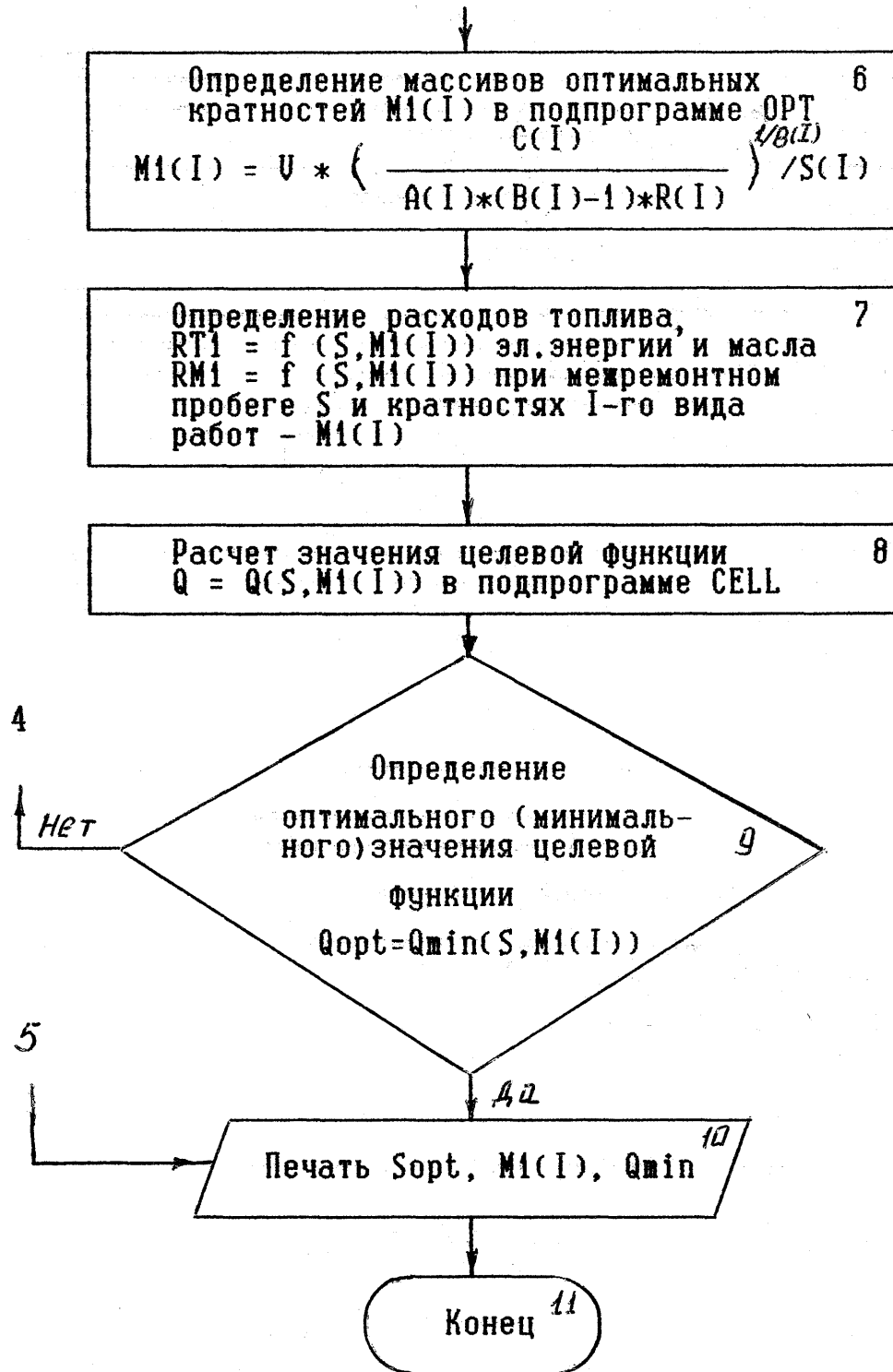


Рис.3.2

функцию и  $B(1)$ . Таким образом, формируются массивы параметров закона распределения Вейбулла  $A(1)$  и  $B(1)$ .

В блоке 4 задаются минимальное и максимальное значения межремонтного пробега локомотива, а также шаг его изменения. Этот блок определяет цикл расчетов, проводимых для каждого текущего значения межремонтного пробега  $S$  с целью выбора оптимального пробега  $SOPT$ .

В логическом блоке 5 происходит сравнение текущего межремонтного пробега  $S$  с  $S_{MAX}$  и ВЫХОД ИЗ ЦИКЛА при условии  $S > S_{MAX}$ .

Блок 6 представляет собой подпрограмму для расчета оптимальных кратностей работ по 1-му узлу локомотива для различных межремонтных пробегов  $S$ . Т.е. этот блок входит в цикл, начинающийся с блока 4. Оптимальная кратность 1-й работы определяется как целая часть отношения  $SOPT$  для ЭТОЙ работы к текущему значению  $S$  по циклу, т.е.  $M(I) = INT(SOPT/S)$ .  $SOPT(I)$  определяется с учетом распределения времени безотказной работы 1-го узла по закону Вейбулла и на основании параметров этого закона  $A(1)$  и  $B(1)$ , определенных в блоке 3. При этом учитываются расходы на плановый -  $C(1)$  и неплановые -  $R(I)$  ремонты.

В блоке 7 определяются расходы энергоресурсов и масла для каждого текущего межремонтного пробега  $S$  и различных вариантов технологических процессов ТО и ТР, определяемых набором кратностей по всем  $N$  работам, подлежащих перераспределению. При этом зависимости расходов электроэнергии и топлива  $RT1(S)$  и расходов масла  $RM1(S)$  приняты линейными.

Блок 8 входит в цикл вычислений по  $S$  и предусматривает расчет целевой функции для каждого варианта набора кратностей работ и текущего значения межремонтного пробега. Целевая функция  $Q(S, M(I))$  представляет собой суммарные затраты на восстановление в результате неплановых ремонтов, затраты на плановые работы при ТО и ТР, потери, связанные с простоем локомотивов на ТО и ТР, а также учитываются расходы электроэнергии или топлива и масла.

Блок 9 является завершающим блоком цикла, в нем происходит минимизация целевой функции  $Q(S, M(I))$ . Минимизация происходит путем сравнения между собой каждого полученного в цикле значения  $Q(S, M(I))$ .

В блоке 10 организована печать минимального значения целевой функции  $Q_{MIN}$  и соответствующих ему значений межремонтного пробега  $S_{OPT}$  и набора кратностей работ  $M(1)$ . Полученный таким образом массив  $M(1)$  представляет собой перечень работ на ТО или ТР.

Таблица 3.1 идентификации переменных к программе приведена ниже. Текст программы приведен в gg] ,

Данная программа может работать самостоятельно или как подпрограмма в составе более общей программы, укрупненная структурная схема которой приведена ранее на рис.3.1. При необходимости приведенная структурная схема может быть расширена для случаев других законов распределения при сохранении общей концепции введением необходимой подпрограммы.

Для определения необходимых зависимостей изменения износов узлов и деталей  $ST(S)$  целесообразно использовать метод наименьших квадратов. Некоторые зависимости полученные по данным ПО "Завод им. Малышева" приведены ниже на рис.3.3 - 3.9.

Более детальный и расширенный алгоритм программы приведен на рис.3.10. В данном алгоритме, указанная выше программа для случаев распределения наработки узлов на отказ по закону Вейбулла и нормальному закону представлена в виде подпрограмм. В виде подпрограммы также сформирован блок, реализующий метод наименьших квадратов. Ниже приведена и соответствующая идентификация переменных и параметров (табл.3.2).

Для проведения моделирования и расчетов помимо самой методики и алгоритма, реализованного в виде программы, необходимы достоверные исходные данные для каждого типа локомотива в целом и отдельных его узлов. Такие параметры как среднетехническая скорость локомотивов ( $V$ ), средний расход топлива или электроэнергии, приведенные к 1 км ( $fr$ ), средний расход масла, приведенный к 1 км ( $\$M$ ), потери от простоя на ТО или ТР ( $A$ ), принимались по результатам наблюдения в депо, по данным сетевого анализа или данным УКРЗАЛІЗНИЦІ. Стоимости 1 кг топлива или 1 кВт\*ч электроэнергии ( $ST$ ), стоимость 1 кг масла ( $SM$ ) принимались на момент проведения расчетов.

Зависимости износа шатунных и коренных шеек НКВ и ВКВ от пробега

/дизель 10Д100/

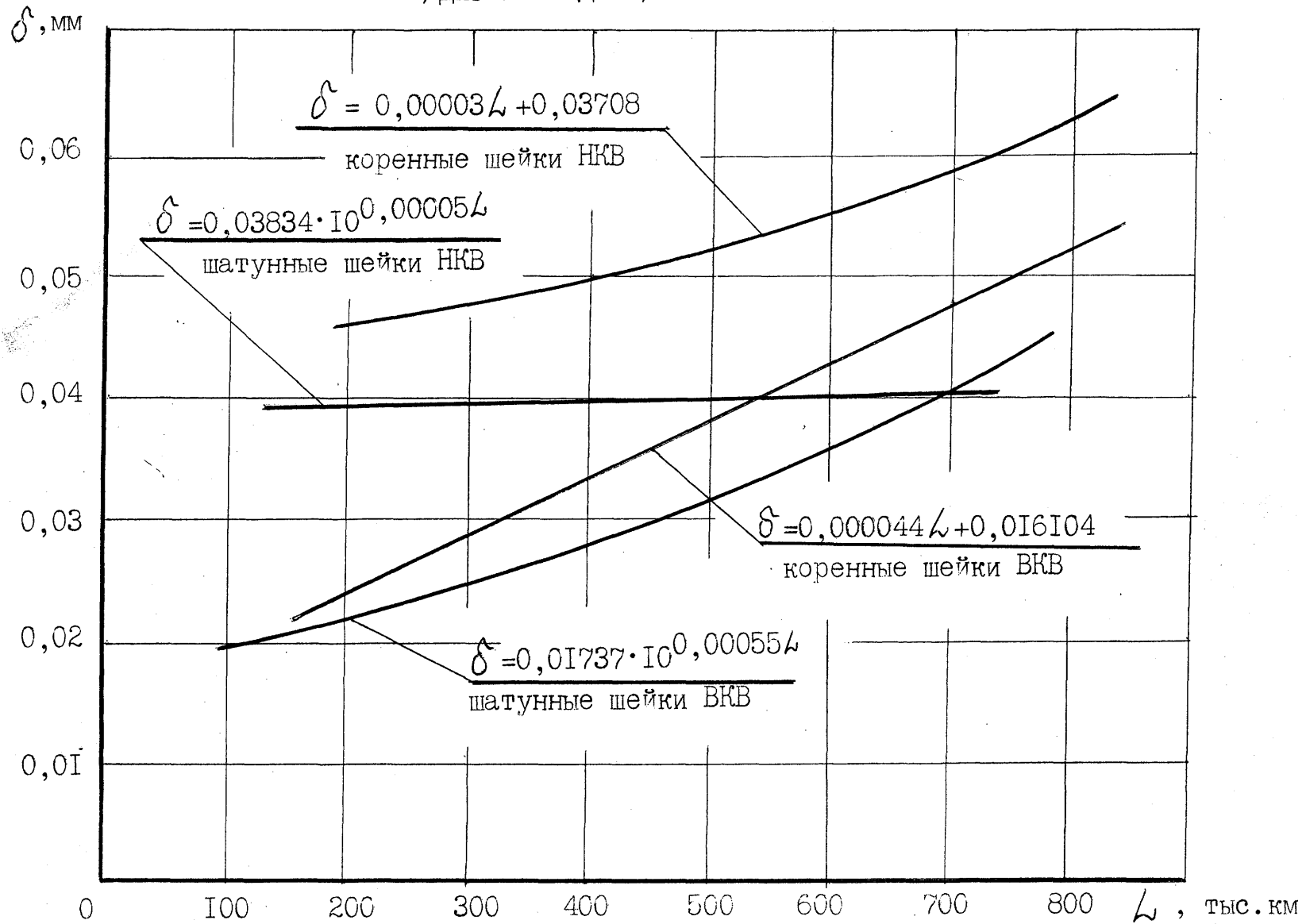


Рис. 3е3

Зависимости износа шатунных вкладышей от  
пробега /дизель 10Д100, нижние шатуны/

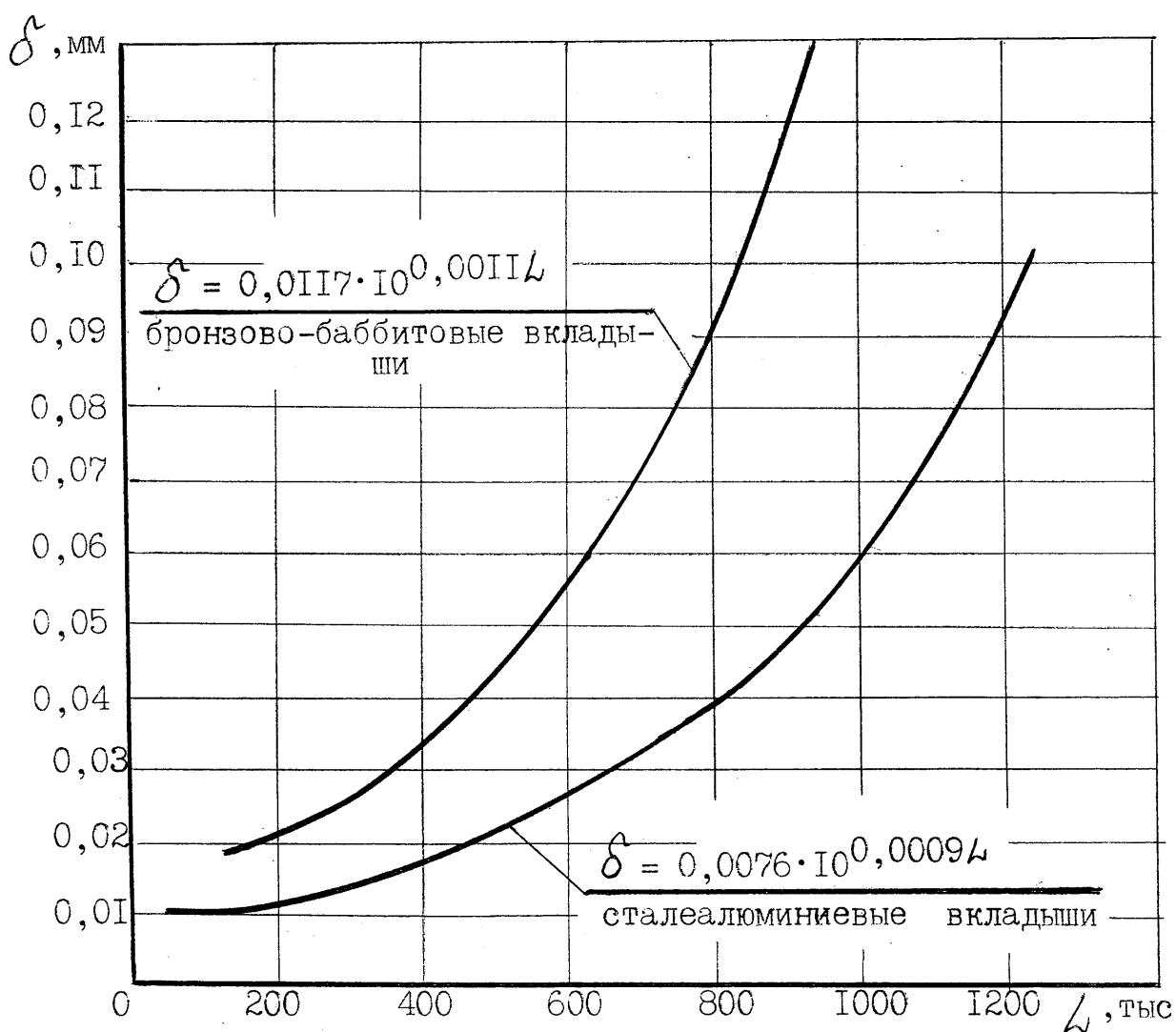


Рис. 3\*2/

Зависимости износов коренных вкладышей от пробега

з /дизель 10Д100/

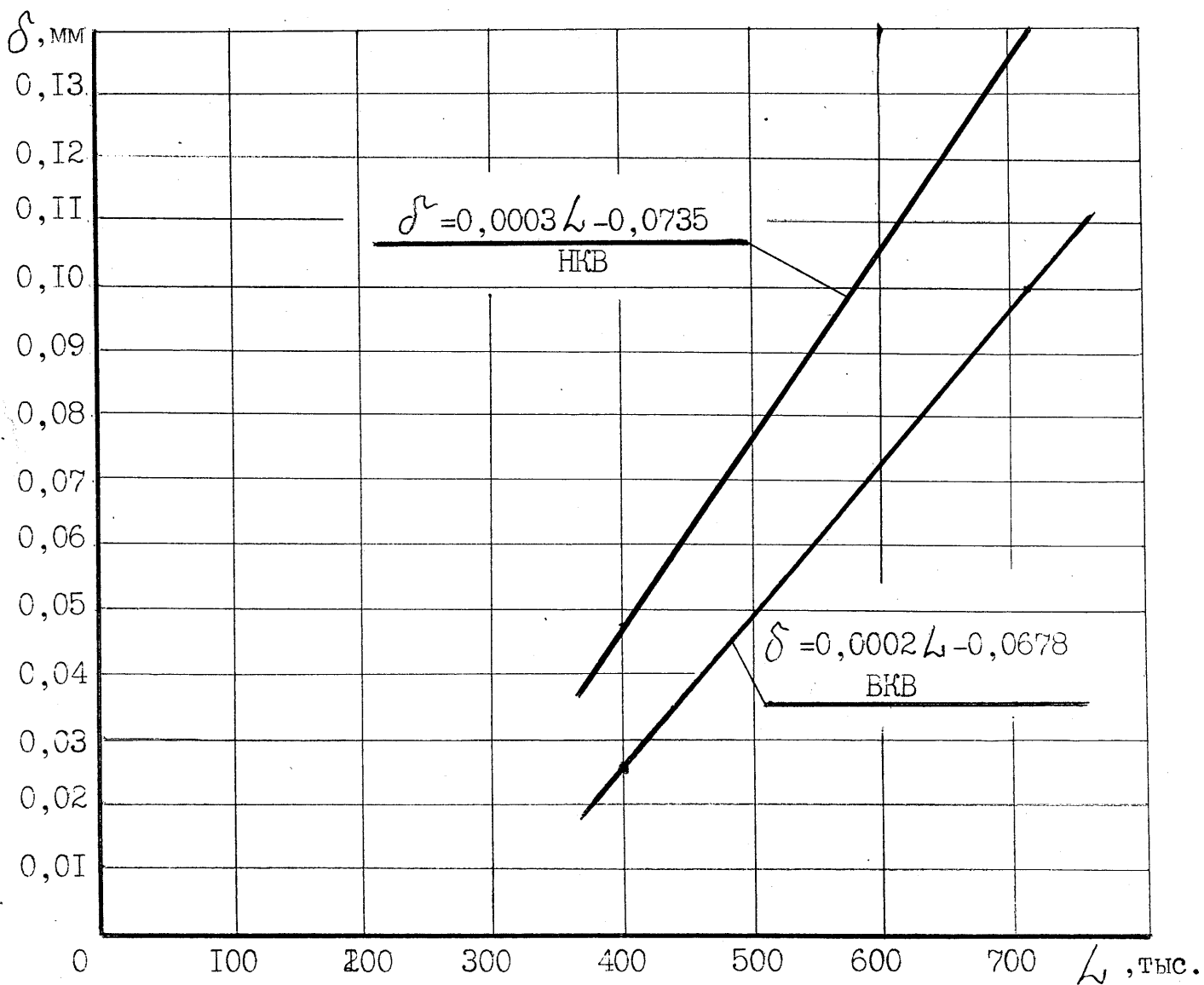


Рис. Л, 5

Зависимости износа диаметра втулок под поршневые пальцы от пробега

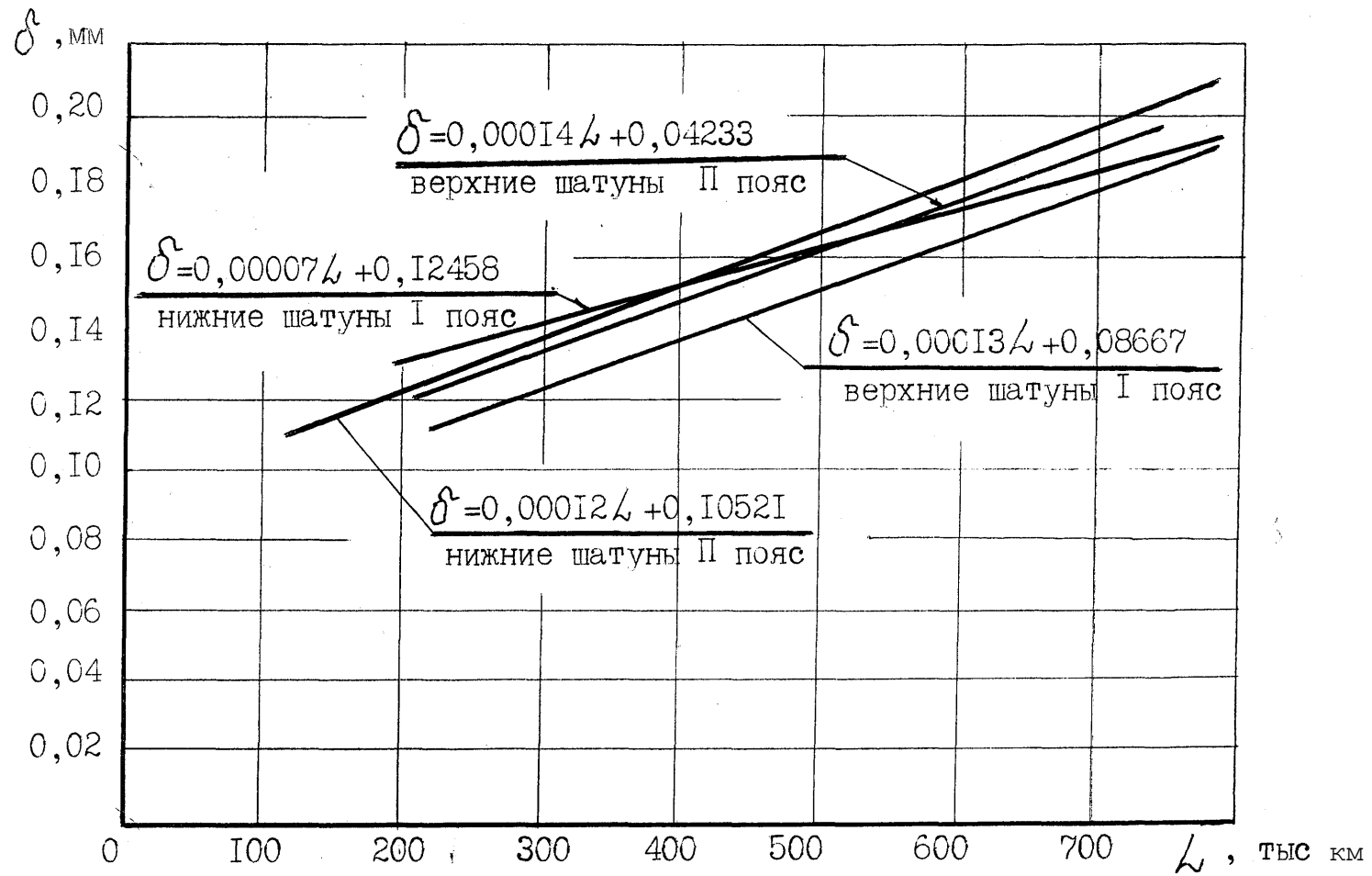


Рис. 6. &

Зависимости износа шатунных вкладышей от пробега

/дизель 10Д100, верхние шатуны/

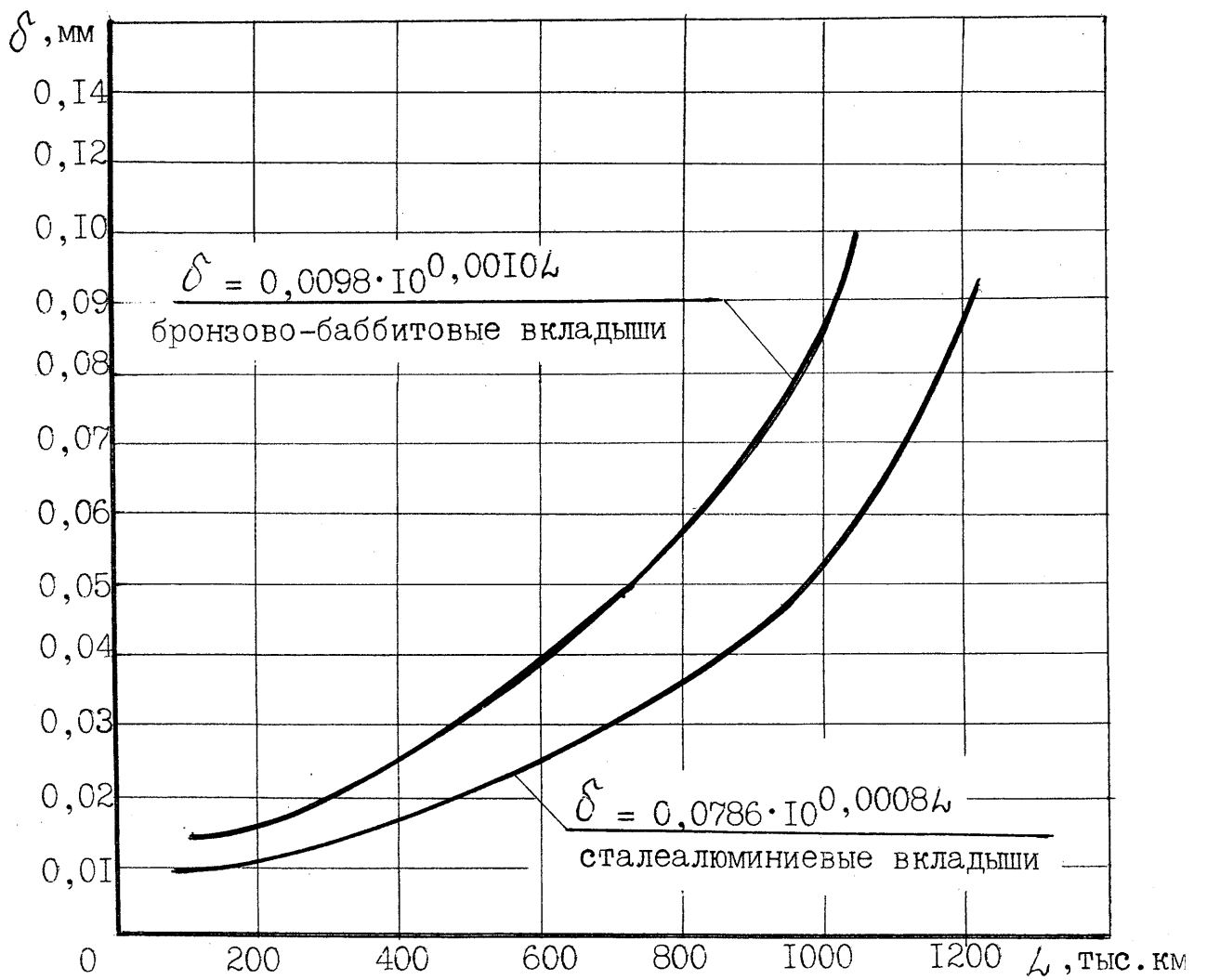


Рис. 3.7

Зависимости износа гильз для дизелей 10Д100 от  
пробега

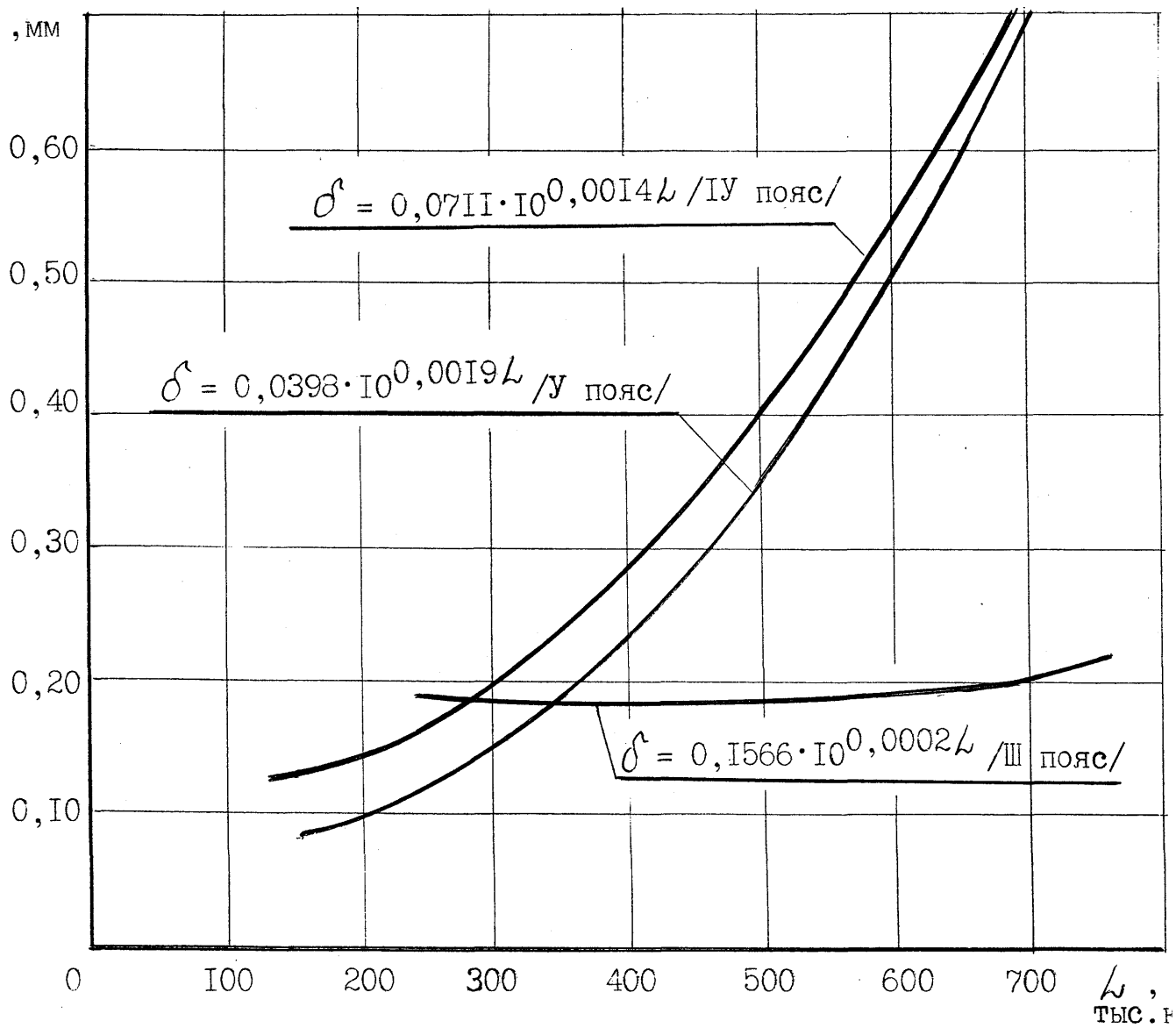


Рис. 3.8

зависимости износа гильз с лазерным упрочнением  
от пробега /дизель 10Д100/

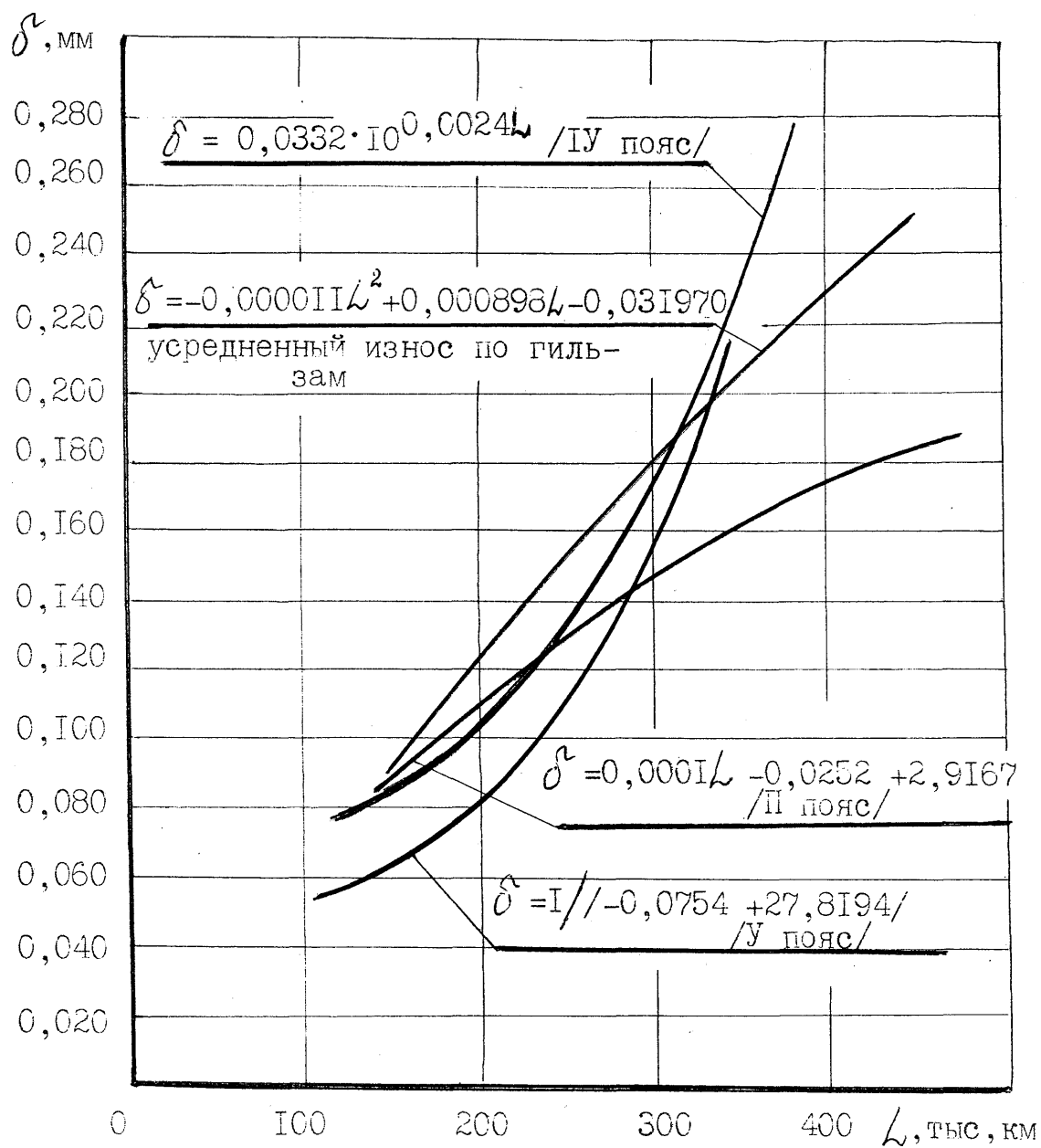


Таблица 3.1

Идентификация переменных к программе определения межремонтных пробегов локомотивов и формирования перечней операции ТО и ТР

Наименование физической величины	Обозначение	Идентификатор
1	2	3
Межремонтный пробег	S	S
Количество работ, подлежащих перераспределению	n	■ N
Кратность j-го вида работ	m	M(I) .
Трудоемкость (стоимость) расходов, связанных с отказом j-го узла локомотива в межремонтный период	R <sub>j</sub>	R(I)
Трудоемкость (стоимость) выполнения плановой работы по j-му узлу	Q	C(I)
Числовые параметры закона распределения Вейбулла для j-го узла	<sup>o</sup> C <sub>j</sub> ,P <sub>j</sub>	A(I),B(I)
Потери, связанные с простоем локомотивов на ТО и ТР	A	AI
Расход топлива или электроэнергии	f <sub>r</sub>	RT1
Расход масла	f <sub>M</sub>	RM1
Стоимость 1 кг топлива или 1 кВт электроэнергии	ST	CT
Стоимость 1 кг масла	SM	CM
Среднетехническая скорость локомотива	V	V
Математическое ожидание величины наработки j-го узла (в км или часах)	E <sub>j</sub>	E(I)
Среднеквадратическое отклонение величины наработки j-го узла (в км или часах)	Sty'	SQ(I)
Оптимальная периодичность j-го вида работ		

Продолжение табл. 3.1

1	2	3
при заданном межремонтном пробеге S	$m_{ij}$	$M_1(I)$
Табличные значения для определения па-	$V_2(J),$	$V_2(J),$
раметров Вейбулла /92,96/	$B_2(J)$	$B_2(J)$
Целевая функция	Q	$Q(S)$

Такие массивы исходных данных, как  $E(1)$  - средняя наработка на отказ по узлам локомотивов, формировались по данным завода-изготовителя, данным Коломенского тепловозного института, ВНИИЖТа, наблюдениям в депо, проведенным лично.

Ввиду отсутствия опытных данных массив  $SQ(I)$  - среднеквадратическое отклонение наработки узлов локомотивов, формировался для каждого узла с учетом различной интенсивности старения. Для узлов с большими значениями наработки  $E(1)$  величина  $SQ(I)$  выбиралась так, чтобы коэффициент вариации

$$\frac{\text{Var}(I)}{E(1)} = \approx 0,77.$$

был порядка 0,77 (старение меньше). Для узлов с наибольшими значениями наработки величина  $SQ(I)$  выбиралась так, чтобы  $\text{Var}(I) \sim 0,65$  (старение больше) /92/.

Массив  $C(1)$  - стоимости плановых работ, формировался по данным УКРЗАЛІЗНИЦІ и отдельных депо.

Таблица 3.2

## Идентификация переменных и параметров

Идентификатор	Наименование физической величины
1	2
$L(I)$	пробег
$b_{ij}$	ИЗНОС $I = l_j N_j$
$R(I)$	стоимость неплановых ремонтов

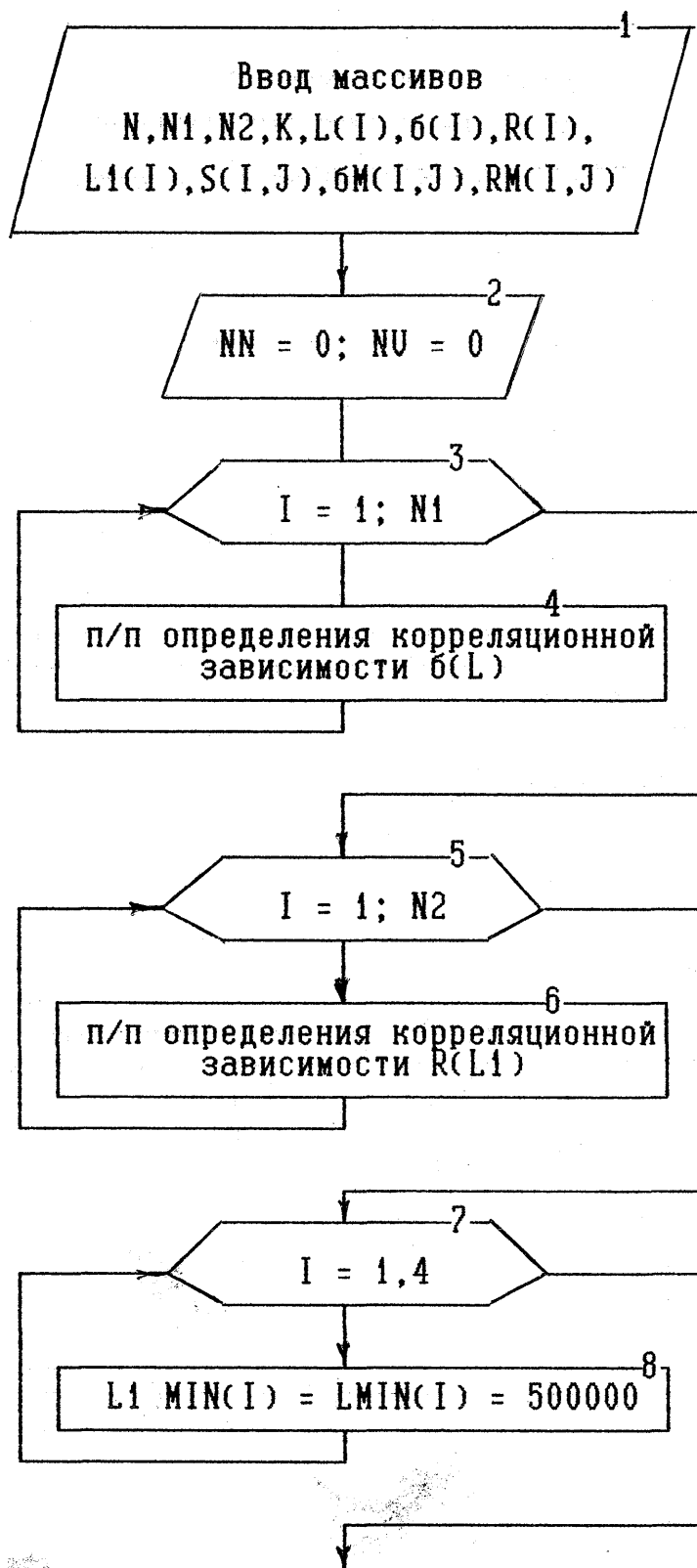
1	2
И(1)	пробег до непланового ремонта $I = 1, N_2$
N1	количество точек для L(I)
N2	количество точек для L1(I)
N	количество деталей
NN	количество деталей с нормальным распределением
NV	количество деталей с распределением Вейбулла
K	количество экспериментальных точек
S(I,J)	массив наработок на отказ; $J = 1, K; I = 1, N$ массив предельных износов; $J = 1, 4; I = 1, N$ массив предельных затрат на НР и ДР; $J = 1, 4; I = 1, N$
NN1	количество точек, попадающих в нормальное распределение
NV1	количество точек, попадающих в распределение Вейбулла
SN(I)	массив средних наработок, образованных из деталей, подчиняющихся нормальному закону распределения $1=1, NN$
SV(I)	массив средних наработок, образованных из деталей, подчиняющихся закону Вейбулла $1=1, NV$
CN	цикличность, определяемая по нормальному закону
CV	цикличность, определяемая по закону Вейбулла
PN	периодичность, определяемая по нормальному закону
PV	периодичность, определяемая по закону Вейбулла
C	цикличность
P	периодичность

При определении массива R(I) - расходов на НР, принималось во внимание, что эти расходы состоят из расходов собственно на ремонт по данному узлу и расходов за счет простоя на НР. При этом закон распределения времени простоя на НР в соответствии с исследованиями, проведенными в /92/ принимался экспоненциальным:

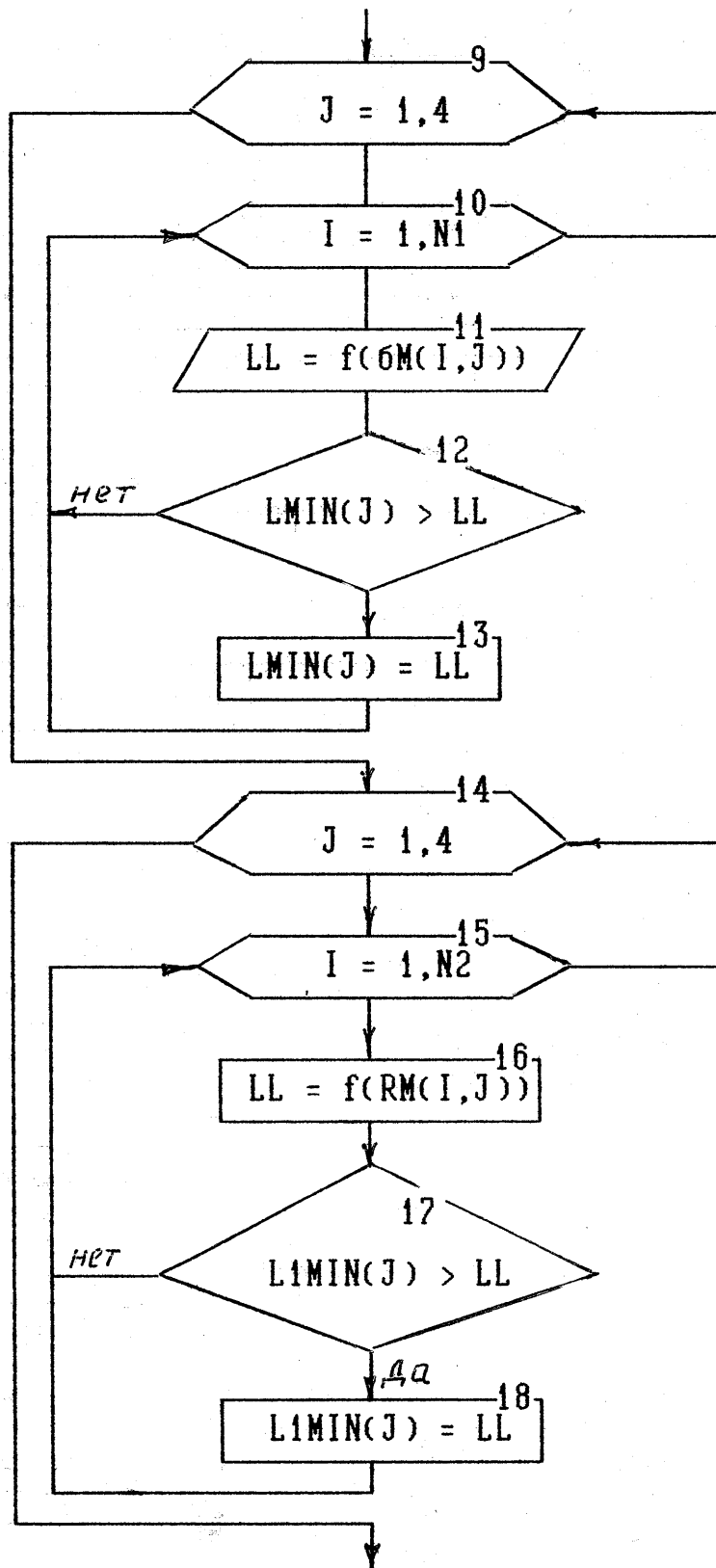
$$F(t) = 1 - \exp(-X * t).$$

## АЛГОРИТМ

определения оптимальной цикличности, периодичности и  
объемов работ на ТО и ТР *ЛОКОМОТИВОВ*

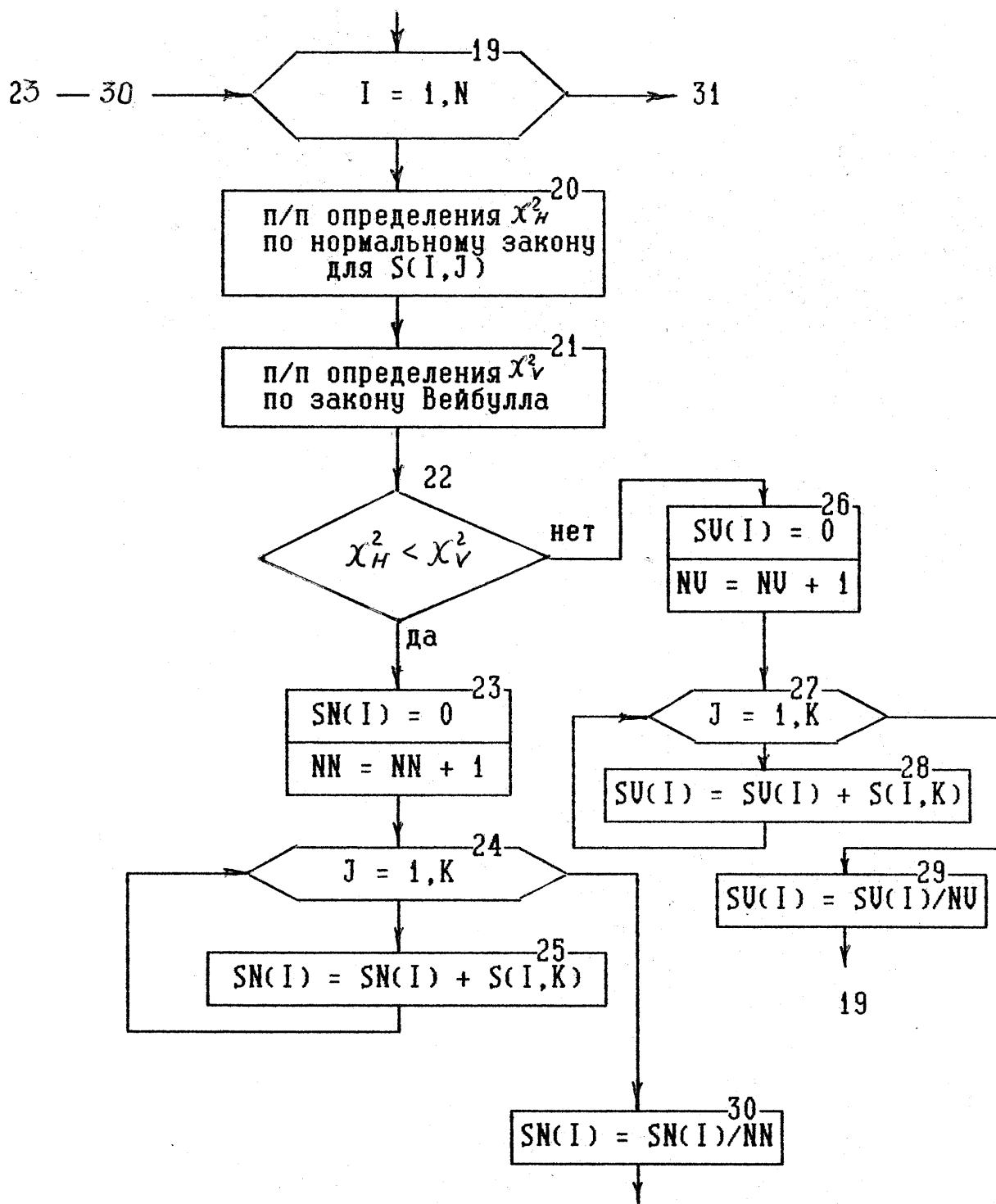


8



19

18



19

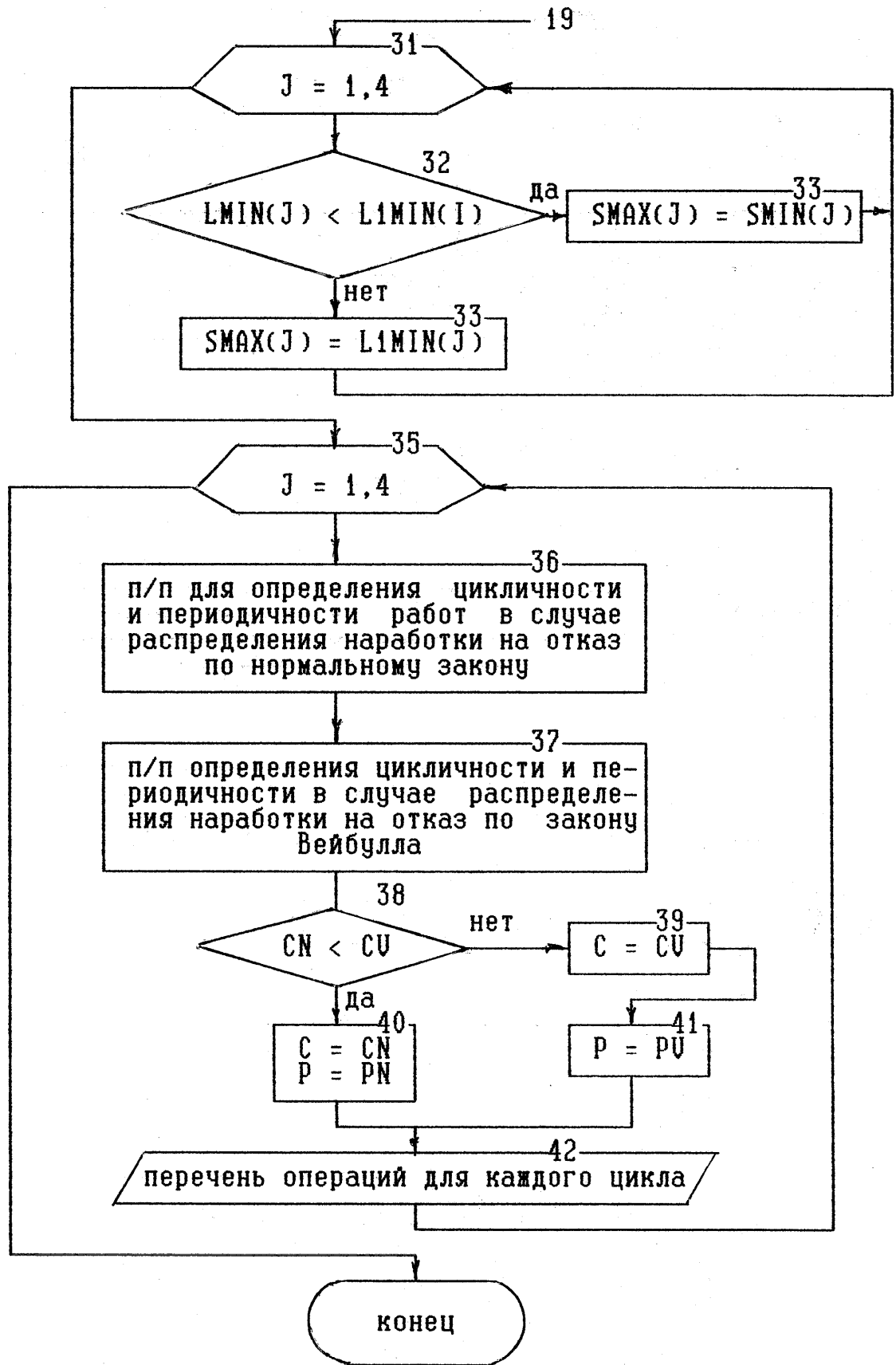


Рис. 3.10

Среднее время простоя  $t_{пр} = 1 / X$ , величина параметра  $D$  выбиралась в соответствии с [102]. Помимо этих слагаемых учитывалось, что unplanned repairs по некоторым узлам могут приводить к порчам, что в свою очередь приводит к расходам, связанным с отказами подвижного состава в пути следования.

Итак, расходы, связанные с НР, предлагается определить в соответствии с ниже приведенной методикой:

$$\text{Э}_{нр} = M_{нр} * (1_{нр} + t_{пр} * 1_{мн}),$$

где  $1_{нр}$  - расходы на один unplanned repair по каждому узлу или детали;

$t_{пр}$  - время простоя на НР;

$1_{мн}$  - расходная норма на один локомотиво-час простоя в ремонте;

$M_{нр}$  - количество unplanned repairs, приходящихся на 1 млн. локомотиво-километров пробега.

Расходы, связанные с отказами подвижного состава в пути следования (выдача резервного локомотива, остановка поезда и его простой с неисправным локомотивом, простой резервного локомотива и задержанных поездов, идущих вслед за поездом с неисправным локомотивом):

$$\text{Э}_{пс} = \text{Э}_{рез} + \text{Э}_о + \text{Э}_{мн} + \text{Э}_{нз} + \text{Э}_{мн},$$

$$\text{Э}_{рез} = M_{не} * MS_{од} * IMS_{од},$$

где  $\text{Э}_{рез}$  - расходы, связанные с вызовом резервного локомотива;

$M_{не}$  - количество порч в пути следования на один млн. локомотиво-км;

$MS_{од}$  - пробег вспомогательного локомотива к поезду с неисправным оборудованием и его доставка в депо,  $M_{8од} = 50$  км;

$IMS_{од}$  - укрупненная норма эксплуатационных расходов на один локомотиво-км;

$$\text{Э}_о = NOCT * 1_о,$$

где  $\text{Э}_о$  - расходы, связанные с остановкой поезда с неисправным локомотивом

$NOCT$  - количество остановок поездов,  $NOCT = 0,22$ ;

$1_о$  - укрупненная расходная норма, связанная с одной остановкой поезда;

$$\mathcal{E}_{\text{мн}} = M_{\text{не}} \cdot N_{\text{нпр}} \cdot I_{\text{мн}},$$

где  $\mathcal{E}_{\text{мн}}$  - расходы, связанные с простоем состава с неисправным локомотивом;

$N_{\text{нпр}}$  - вагоно-час простоя;

$I_{\text{мн}}$  - расходная норма на час простоя поезда;

$$\mathcal{E}_{\text{мн}}^{\text{рез}} = M_{\text{не}} \cdot (M_{\text{нрез}} \cdot I_{\text{мнв}} + I_{\text{ост}}),$$

где  $\mathcal{E}_{\text{мн}}^{\text{рез}}$  - расходы, связанные с простоем резервного локомотива;

$M_{\text{нрез}}$  - время простоя резервного локомотива,  $M_{\text{нрез}} = 0,5$  ч;

$I_{\text{ост}}$  - расходы, связанные с остановкой резервного локомотива по прибытии к поезду и простоя его по прицепке;

$I_{\text{мнв}}$  - расходная норма на один вагоно-час простоя в ремонте, учитывающая реновационные отчисления;

$$\mathcal{E}_{\text{,нз}} = N_3 \cdot I_{\text{о}} + B_{\text{ГНзад}} \cdot I_{\text{нн}},$$

где  $\mathcal{E}_{\text{,нз}}$  - расходы, связанные с простоем, задержанных поездов на перегоне;

$N_3$  - количество задержанных поездов,  $N_3 = 4,5$ ;

$I_{\text{о}}$  - укрупненная норма, связанная с одной остановкой поезда;

$B_{\text{ГНзад}}$  - поездо-часы простоя задержанных поездов,  $B_{\text{ГНзад}} = 1,9$  ч;

$I_{\text{нн}}$  - укрупненная норма расходов на 1 поездо-час простоя.

Суммарные расходы связанные с НР:

$$- \mathcal{E}_{\text{НР}} \approx \mathcal{E}_{\text{ис}}$$

где  $\mathcal{P}_{\text{ис}}$  - вероятность возникновения отказа в пути следования.

Таким образом, элементы массива  $R(I)$  представляют собой суммарные расходы на НР, т.е.  $\mathcal{E}_{\text{Епр}}$  по каждому узлу.

### 3.3, Создание оптимальной системы ТОР и адаптивных технологических процессов локомотивов

В соответствии с предлагаемой выше концепцией, реализованной в виде методики и программного обеспечения, было проведено моделирование для определения и корректировки межремонтных пробегов локомотивов и МВПС с целью создания оптимальной системы цикличности и периодичности ТО и ТР. На основании анализа причин unplanned ремонтов, а также узлов, состояние которых непосредственно влияет на безопасность движения, для локомотивов каждой серии был сформирован перечень узлов и деталей. Помимо этого определены необходимые параметры и массивы исходных данных. В результате расчетов и моделирования, проведенного на ПЭВМ IBM PC/AT, получены значения целевой функции  $Q(S, m_1, m_2, \dots, m_n)$  в функции пробега  $S$  и построены зависимости  $Q = Q(S)$ . По значению минимума целевой функции  $Q(S, m_1, m_2, \dots, m_n)$  определены соответствующие оптимальные межремонтные пробеги и перечни работ на данном виде ТО или ТР. Таким образом, сформирована оптимальная система ТОР для локомотивов и МВПС, эксплуатируемых в условиях железных дорог Украины. Примеры расчетов приведены и проиллюстрированы ниже.

#### Корректировка межремонтных пробегов для электровозов ЧС-2.

Исходные данные для ввода в ПЭВМ собраны в депо "Октябрь" Южной железной дороги.

$V = 5'0$  км/ч - среднетехническая скорость (по данным сетевого анализа);

$A_1$  - крб. - потери от простоя на ТО и ТР (по данным "УКРЗАЛІЗНИЦІ");

$RT = 10,4$  кВт/км - средний расход электроэнергии, приведенный к 1 км  
(по данным сетевого анализа);

$RM = 0,00001$  кг/км - средний расход масла, приведенный к 1 км (по данным сетевого анализа);

$ST, \text{крб}$  - стоимость 1 кВт (по данным "УКРЗАЛІЗНИЦІ");

$SM, \text{Крб}$  - стоимость 1 кг масла (по данным "УКРЗАЛІЗНИЦІ").

Массивы исходных данных -  $E(1)$  - средняя наработка на отказ,  $SQ(I)$  - среднеквадратическое отклонение наработки,  $C(1)$  - стоимость плановых ремонтов и обслуживании,  $R(I)$  - расходы на неплановые ремонты по каждому узлу приведены ниже в табл. 3.3. Значения стоимостных параметров принимались на время проведения моделирования.

Массивы исходных данных

Таблица 3.3

Идентификатор переменной				Наименование детали
$R(I), \text{Крб}$	$C(1), \text{крб}$	$E(1) \cdot 10^3, \text{км}$	$SQ(I) \cdot 10^3, \text{км}$	
1	2	3	4	5
1812	302,9	800	266	Шкворневой узел
1356	226,8	800	266	Рама тележки
106240	1062,4	400	133	Колесная пара
3256	326	400	133	Букса
753	173	800	266	Рессорное подвешивание тележки
20811	205	400	133	Тяговый редуктор
16340	205	800	266	Карданный привод
3396	565	450	150	Межтележечное сочленение
2614	258	450	150	Рессорное подвешивание кузова
12608	1273	800	266	Кузов электровоза
432	43,2	500	166	Воздушная система охлаждения
				вентилятора
21373	2213	450	150	Тормозные рычаги
20	20	120	40	Скоростемер
70	70	300	100	Привод скоростемера
2747	27,4	450	150	Автосцепка
16898	212	400	133	ТЭД
16340	212	800	266	Карданная муфта
3078	513	500	166	Мотор вентилятора
43599	1211	460	133	Мотор компрессора

Продолжение табл.3.3

1	2	3	4	5
115	19,3	480	160	Мотор компрессора К2
2319	151	500	166	Зарядный генератор
167	16,7	500	166	Устройство для отвода тока в рельс
396	66,27	120	40	Токоприемник
188	18	450	150	Разъединитель
188	18	450 ,	150	Заземлитель
103,7	103,7	350	116	БВ
138,9	138,9	400	133	Привод БВ
8911	891	350	116	Главный групповой переключатель
1286	128,6	400	133	Переключатель ступеней ослабления поля
196	36,03	450	150	Пневматический двигатель главно- го группового переключателя
354	59,4	400	133	Реверсор
180	33,8	420	139	Пневматический привод реверсора
1040	104	380	126	Контроллер машиниста
2124	213	400	133	Пусковые сопротивления
291	48,2	420	140	Дроссель ослабления поля
174	29,4	375	125	Контакторный элемент 31SM
174	29,4	375	125	Электромагнитный контактор
174	29,4	375	125	23 SM и 6SM/I
306	51,7	450	150	Делитель напряжения
3526	352	400	133	Добавочное сопротивление 48RP
3526	352	400	133	Добавочное сопротивление для реле боксования
3526	352	400	133	Добавочное сопротивление для реле напряжения
97,4	97,4	450	150	Дифференциальное реле 15CB

Продолжение табл.3.3

1	2	3	4	5
97,4	97,4	450	150	Дифференциальное реле 17CB
3526	352	400	133	Добавочное сопротивление 49RP
20,17	20,17	450	150	Реле ПСВ1
20,7	20,7	450	150	Реле 9CN
70,7	70,7	420	120	Реле ПСВ
15,1	15,1	400	133	Реле максимального тока 14CM1
15,1	15,1	400	133	Реле максимального тока 15 CM2
11,06	11,06	420	120	Электромагнитный вентиль 8VZ
11,06	11,06	420	140	Электромагнитный вентиль 9VZ
40,2	40,2	450	150	Сдвоенный вентиль 5VC
31,8	31,8	400	133	Электромагнитная защелка

На основании приведенных исходных данных проведено моделирование и получены зависимости изменения целевой функции  $Q(S)$  от пробега /рис. 3.11 -3.14/.

При корректировке межремонтных пробегов для ТО-3 электровозов ЧС-2 изменения значений пробегов выбраны от 1000 км до 35000 км. Вид целевой функции  $Q(S)$  и значение  $S_{opt}$  приведены на рис. 3.11.

При корректировке межремонтных пробегов для ТР-1 электровозов ЧС-2 изменения значений пробегов выбраны от 15000 км до 40000 км. Вид целевой функции  $Q(S)$  и  $S_{opt}$  приведены на рис. 3.12.

При корректировке межремонтных пробегов для ТР-2 электровозов ЧС-2 изменения значений пробегов выбраны от 180000 км до 220000 километров. Вид целевой функции  $Q(S)$  и  $S_{opt}$  приведены на рис. 3.13.

При корректировке межремонтных пробегов для ТР-3 электровозов ЧС-2 изменения значений пробегов выбраны от 380000 км до 430000 километров. Вид целевой функции  $Q(S)$  и  $S_{opt}$  приведены на рис. 3.14.

Изменение целевой функции суммарных затрат от пробега  
между ТО-3 для электровозов ЧС-2

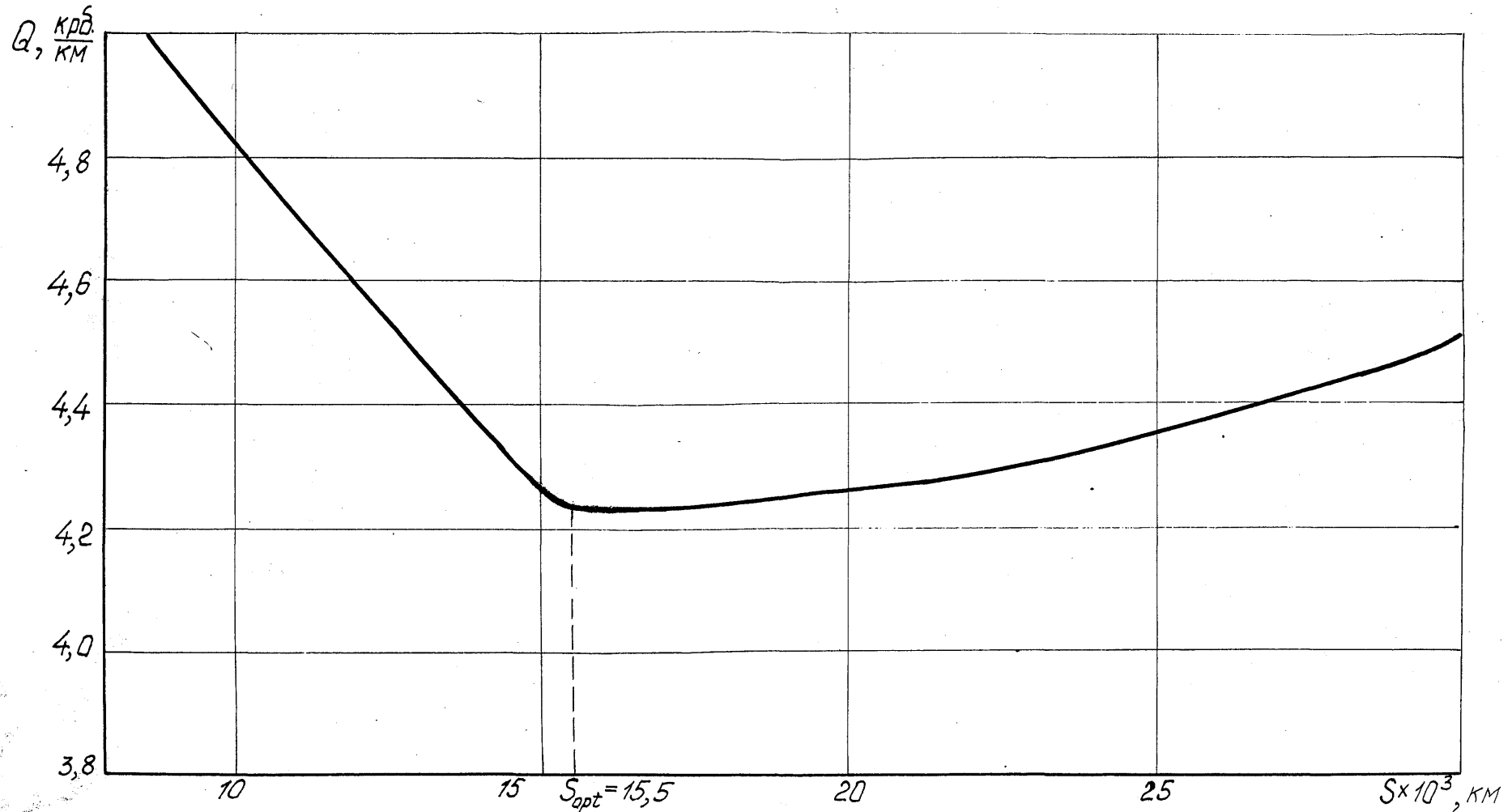


Рис. 3.11

Изменение целевой функции суммарных затрат  
от/правеегоё между ТР-1 для электровозов ИС-2

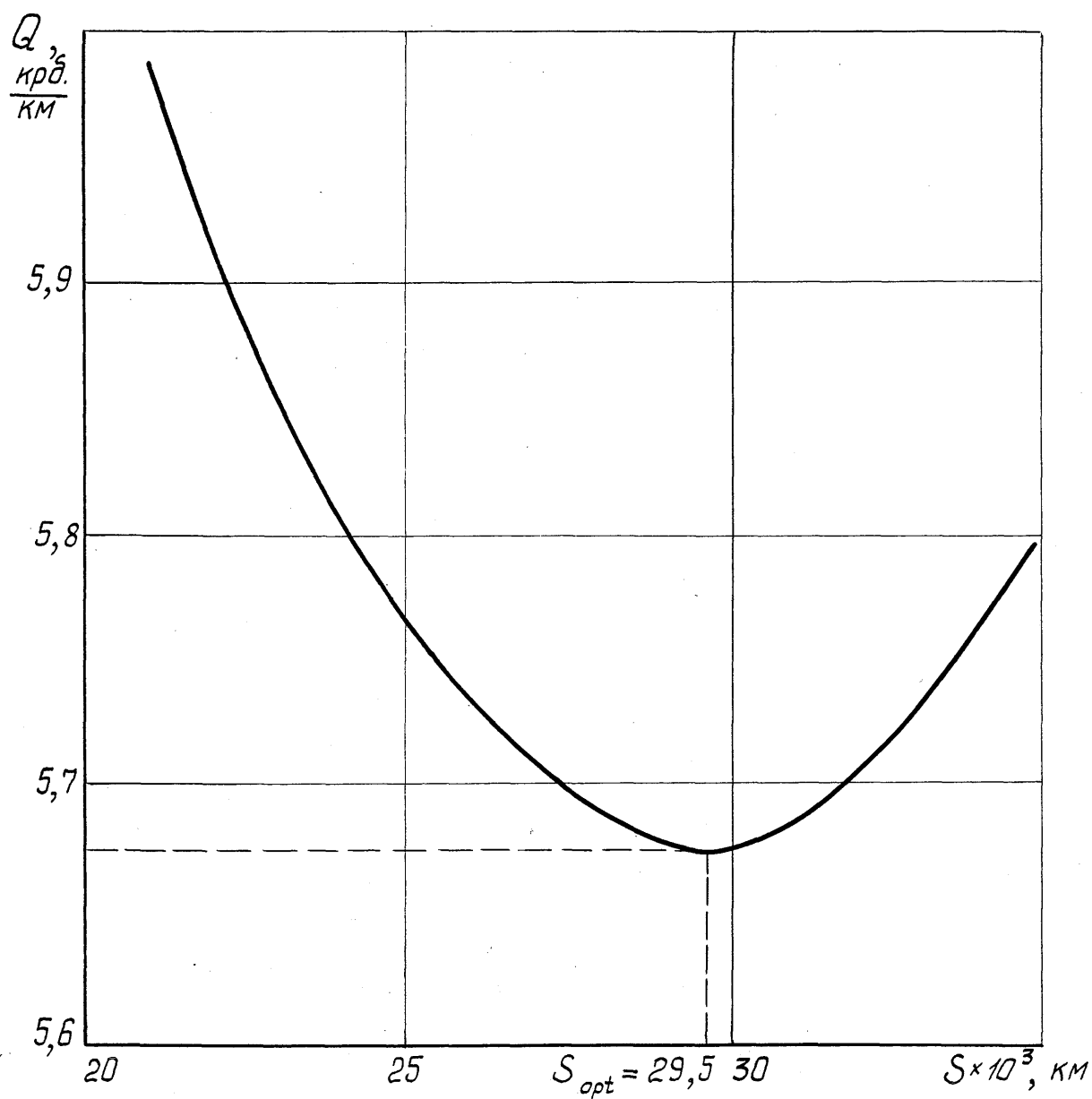


Рис. 3. /<Г

изменение целевой функции суммарных затрат  
от прадегод между TP-Z для электровозов ЧС-2.

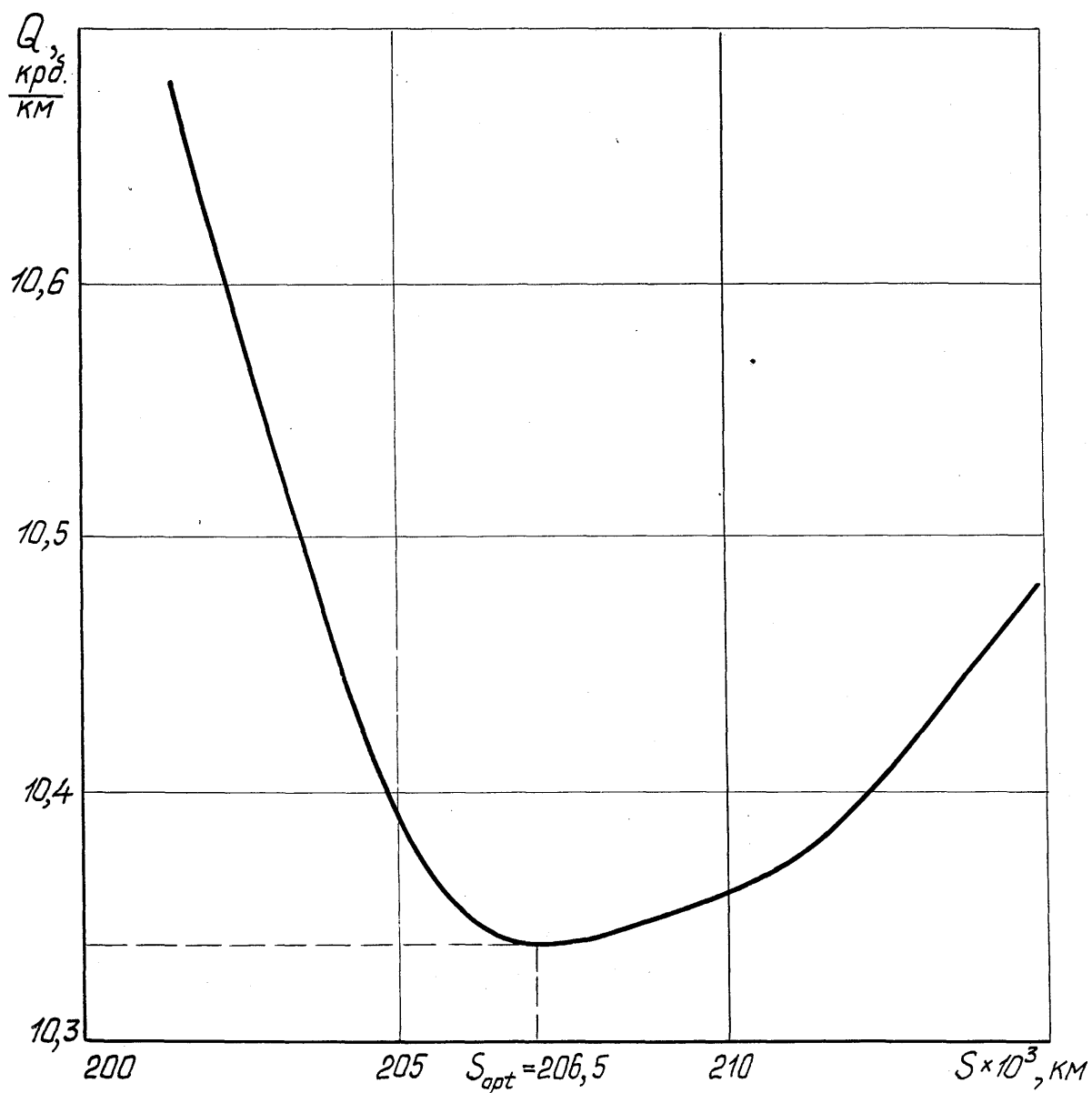


Рис. 5.15

изменение целевой функции. суммарных затрат  
от проїеогої между TP-3 дня электровозов PC'S.

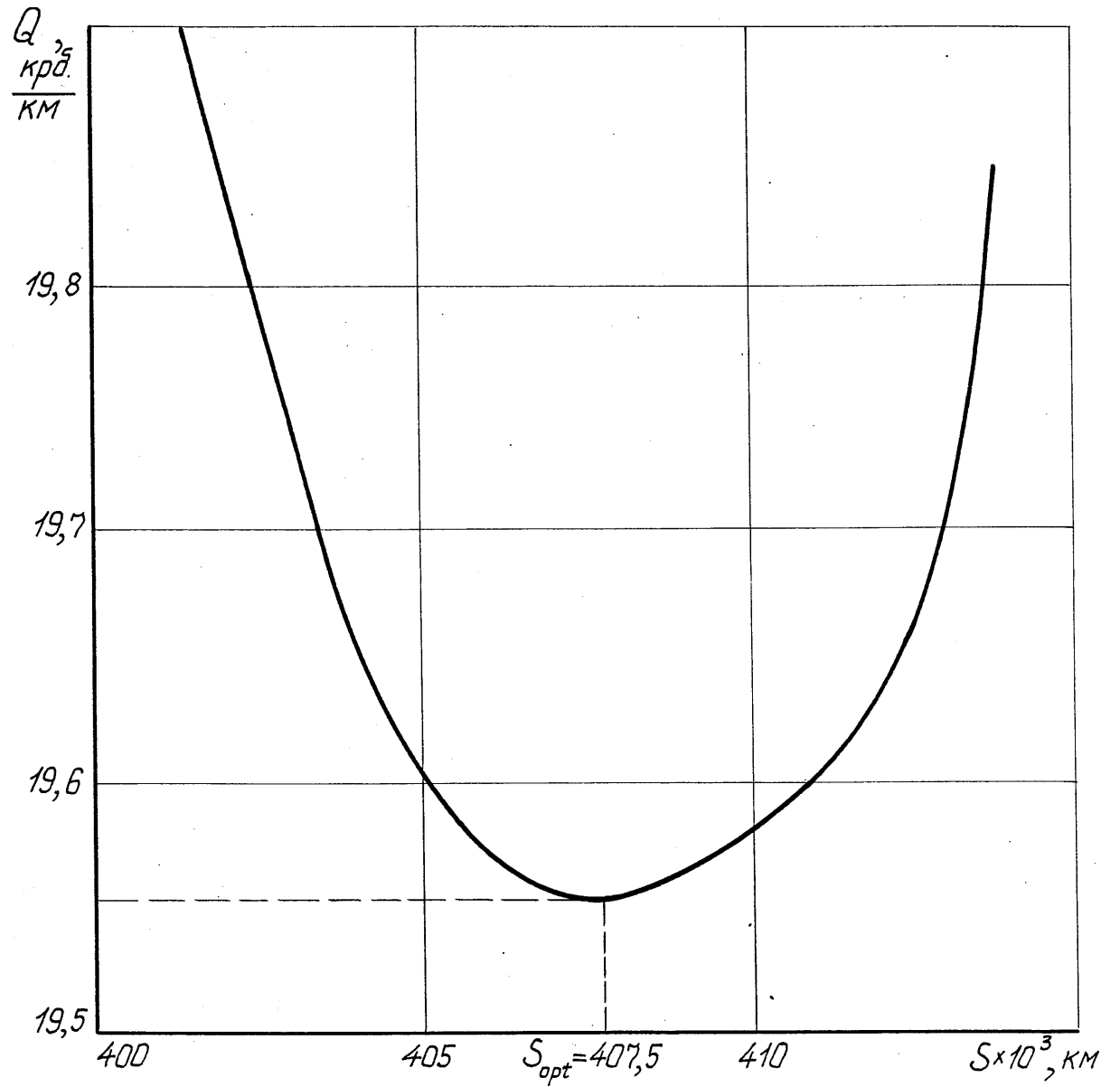


Рис. 3./P

Таким образом, в результате моделирования получено

для ТО-3  $S_{opt} = 15500$  км;

для ТР-1  $S_{opt} = 29500$  км;

для ТР-2  $S_{opt} = 206500$  км;

для ТР-3  $S_{opt} = 407500$  км.

Корректировка межремонтных пробегов для электровозов ЧС-7.

Исходные данные для ввода в ПЭВМ приведены в табл.3.4.

Массивы исходных данных.

Таблица 3.4

Идентификатор переменной				Наименование детали
R(I),Крб	C(1),крб	E(1)*10 <sup>3</sup> ,км	SQ(I)*10 <sup>3</sup> . ,км	
1	2	3	4	5
6366	636	800	266	Шкворень
2486	476	800	266	Рама тележки
15425	2223	450	150	Колесная пара
14254	431	490	163	Редуктор
4541	685	490	163	Буксовый узел
1242	453	800	266	Рессорное подвешивание
3424	2673	800	266	Кузов
5841	26,4	550	183	Охлаждение ТЭД
1424	26,25	500	166	Реостат тормоза
424	26,1	540	180	Охлаждение импульсного
141	27	200	67	преобразователя Гаситель колебаний
16458	404	500	166	ТЭД
3544	975	510	170	Мотор вентилятора 2AV
3544	975	510	170	Мотор вентилятора 2А
9421	2305	500	166	Мотор компрессора
448	287	540	180	Динамо-машина зарядки

Продолжение табл.3.4

1	2	3	4	5
59	36,7	590	197	Компрессор КЗ-лок 2
9425	1960	540	180	Главный выключатель 12НСЗ
342	180,9	560	186	Командо-контроллер KRD17
459	260	570	190	Контроллер косвенного управления 1KND4
1342	41,38	500	166	Разъединитель OSD4
251	21	540	180	Переключатель IPPD12
345	26,45	590	197	Переключатель тормоза 3PPD14
1428	237	550	183	Переключатель направления IPPD26
1544	298	550	183	Переключатель направления VIPPD27
3ОЮ	317	550	183	Переключатель направления PPD29
104	65,9	450	150	Контактор 3SVAD4
104	65,9	450	150	Контактор 3SVAD6
104	65,9	450	150	Контактор SVAD11
341	214	500	166	Реле 11CB2
320	199	500	166	Реле 17CB
349	217	500	166	Реле 6RPD8
5442	468	560	186	Сопротивления 10RS3
5442	468	560	186	Сопротивления ORS4, 48RP3
5442	468	560	186	Сопротивления 53RP, ORP24
80,5	70	480	160	Электромагнитная защелка 4ZB1
75	68	450	150	Электромагнитный клапан VTM2,2
75	68	450	150	Электромагнитный клапан VTM5,2
145	41	550	183	Противоскользящая защита PSO5,1
202	100	580	193	Разрядник перенапряжения РВКУ

Продолжение табл.3.4

1	2	3	4	5
94	31,6	560	186	Т аймеры ТМ6,1 ;7,1
425	107	540	180	Командо-аппарат вспомогательных цепей Тб
541	71,3	580	193	Электрический бойлер ЕО940
345	43,5	500	166	Реле давления ТSV6
5425	60,3	480	160	Междувагонная сцепка
145,7	145,7	200	67	Токоприемник
4640	464	540	180	Тяговое сопротивление 7PTL-0
4520	452	560	186	Шунтирующее сопротивление 26RSL-0
4400	440	550	183	Токоограничительный реостат 8RRL-0
16,7	16,7	440	146	Датчик противогазной защиты 3SRL-0
104	57,1	490	163	Воздушный контактор 4OE
41,3	41,3	530	176	Вспомогательное реле RP700
26	26	500	166	Указатель состояния US3
49	49	570	170	Коробка реле RSL32
21	21	500	166	Датчик давления LUN 15566,8

На основании приведенных данных проведено моделирование и получены зависимости изменения целевой функции  $Q(S)$  от пробега /рис. 3.15-3.18/.

При корректировке межремонтных пробегов между ТО-3 для электровозов ЧС-7 изменения значений пробегов выбраны от 1000 км до 30000 километров. Вид целевой функции  $Q(S)$  и значения  $Sort$  приведены на рис. 3.15.

При корректировке межремонтных пробегов для ТР-1 электровозов ЧС-7 изменения значений пробегов выбраны от 15000 км до 40000 км. Вид целевой функции  $Q(S)$  и значения  $Sort$  приведены на рис. 3.16.

Изменение целевой функции суммарных затрат  
от прое&ое между ТО-3 дня электровоза!} ЧС-1

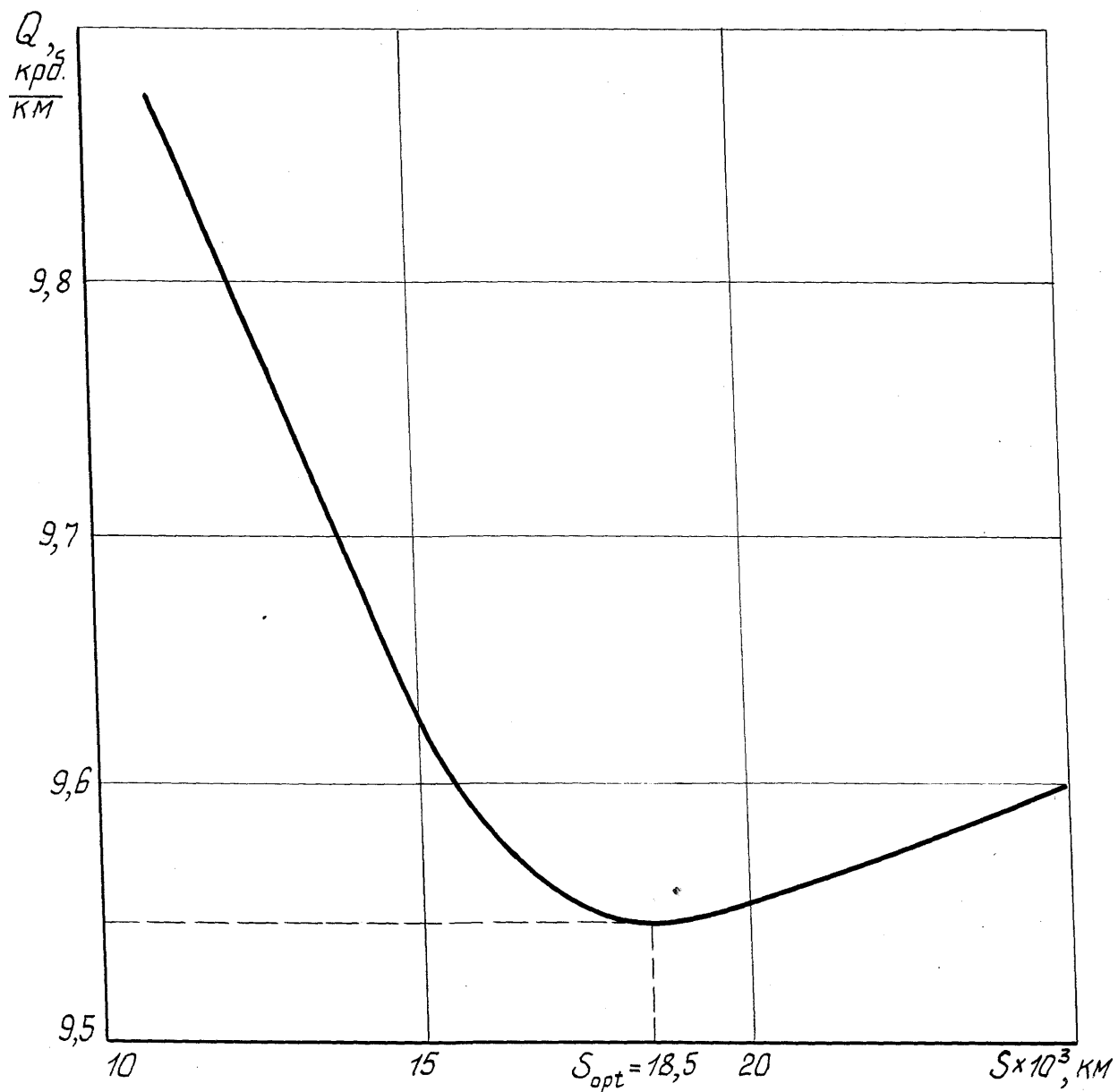


Рис. 3.15

Изменение цене дои функции суммарных затрат  
■ от проейгод между TP-1 дня энектродозод ЧС-7

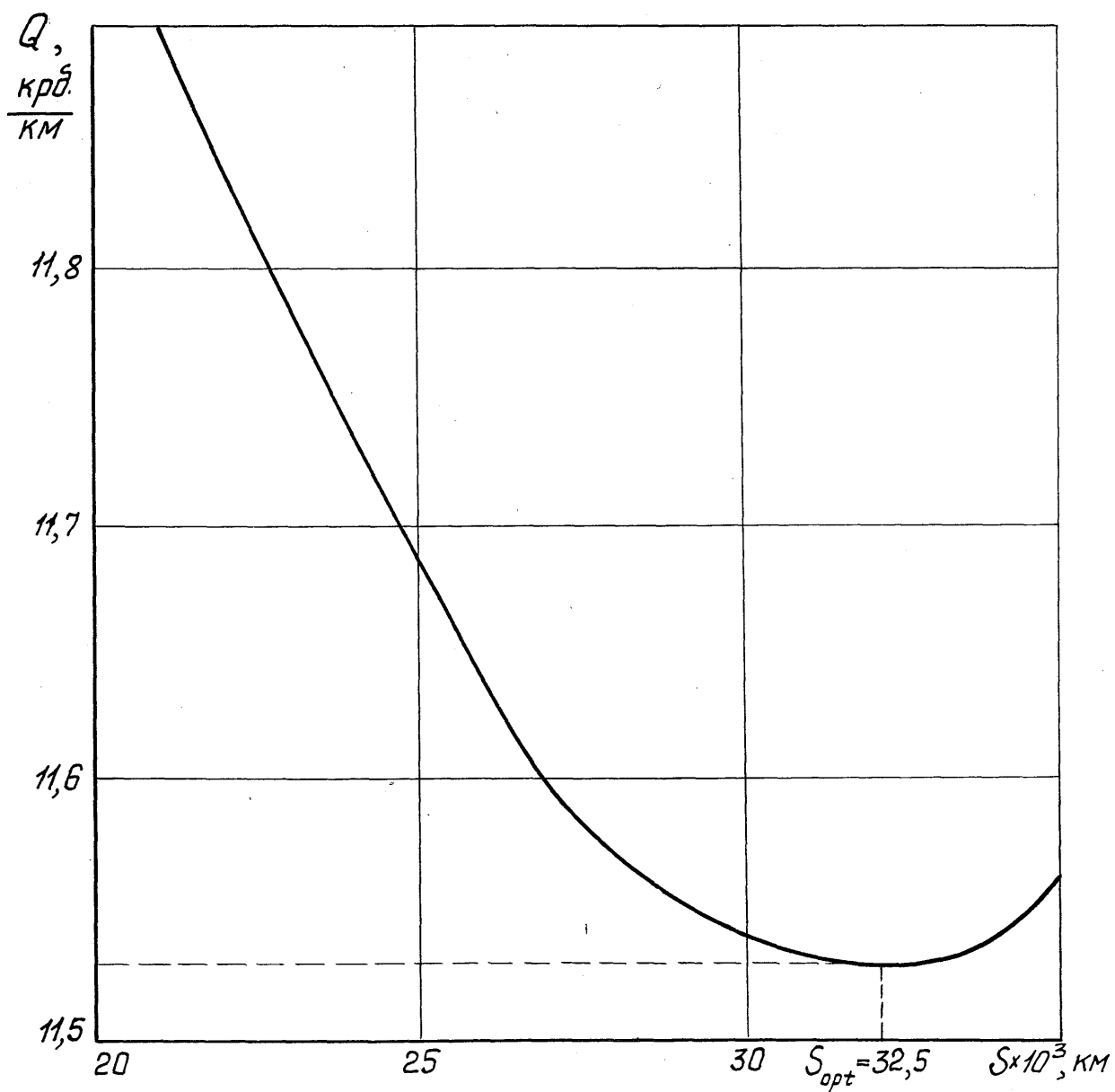


Рис. 3.1б

Ц-Изменение целевой функции суммарных затрат  
от пролёта между ТР-2 для электроРозво РС-1

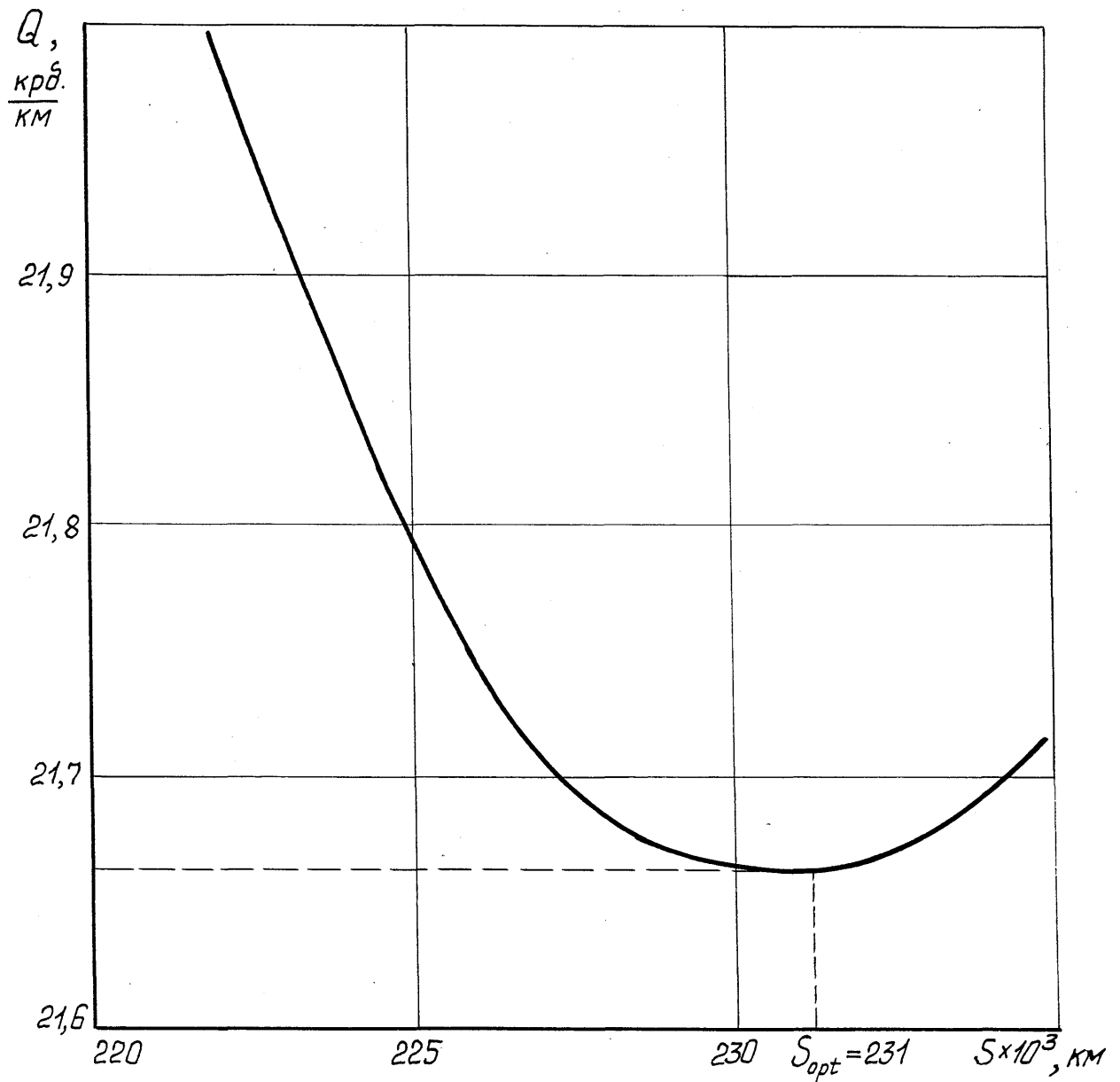


Рис. 3. <?

Изменение целевой функции суммарных затрат от проделанной между ТР-3 для элементодозоо ЧС-7

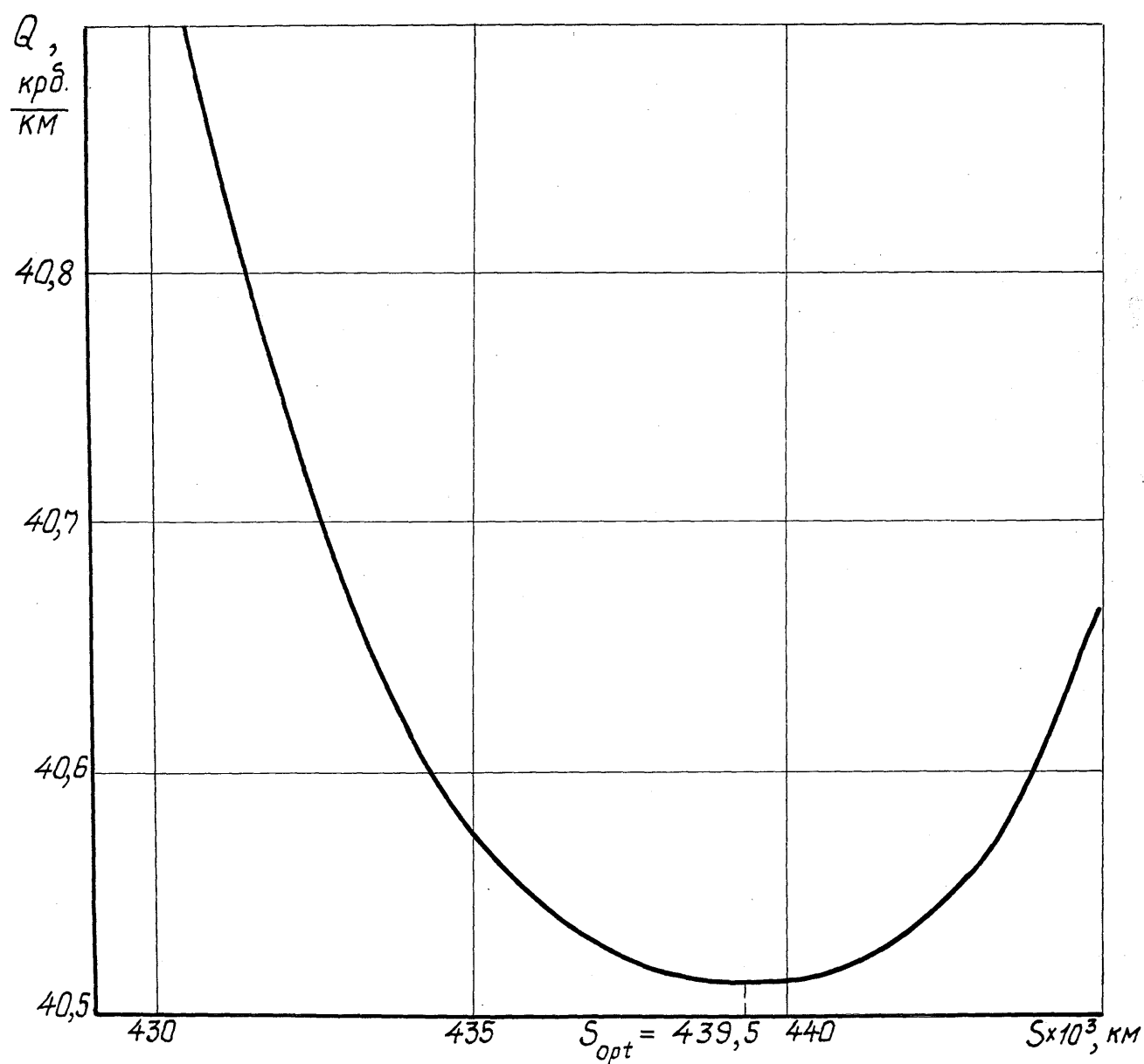


Рис. 3Р8

При корректировке межремонтных пробегов для ТР-2 электровозов ЧС-7 изменения значений пробегов выбраны от 190000 км до 250000 километров. Вид целевой функции  $Q(S)$  и значения  $S_{opt}$  приведены на рис. 3.17.

При корректировке межремонтных пробегов для ТР-3 электровозов ЧС-7 изменения значений пробегов выбраны от 390000 км до 470000 километров. Вид целевой функции  $Q(S)$  и значения  $S_{opt}$  приведены на рис. 3.18.

Таким образом, в результате моделирования получено:

для ТО-3	$S_{opt} = 18500$ км;
для ТР-1	$S_{opt} = 32500$ км;
для ТР-2	$S_{opt} = 231000$ км;
для ТР-3	$S_{opt} = 439500$ км.

#### Корректировка межремонтных пробегов тепловозов 2ТЭ116.

При проведении моделирования были собраны исходные данные в локомотивных депо Основа и Гребенка Южной ж.д.. Для корректировки межремонтных пробегов принимались следующие значения постоянных величин, являющихся исходными данными в соответствии с разработанной методикой и программой:

$V = 35,5$ км/ч	- среднетехническая скорость (по данным сетевого анализа);
$A1$ - крб.	- потери от простоя на ТО и ТР (по данным депо);
$RT = 5,65$ кВт/км	- средний расход топлива, приведенный к 1 км;
$RM = 0,0597$ кг/км	- средний расход масла, приведенный к 1 км;
$ST$	- стоимость 1 кг топлива (по данным депо);
$SM$	- стоимость 1 кг масла (по данным депо).

Такие исходные данные, как  $E(1)$  - средняя наработка на отказ;  $SQ(I)$  - среднеквадратическое отклонение наработки;  $C(1)$  - стоимость плановых работ на ТО и ТР;  $R(I)$  - расходы на unplanned ремонт по каждому узлу приведены в виде одномерных массивов в табл. 3.5.

## Массивы исходных данных

Таблица 3.5

Идентификатор переменной				Наименование детали
R(I),Крб	C(1),крб	E(1)*10 <sup>3</sup> ,км	SQ(I)*10 <sup>3</sup> ,км	
1	2	3	4	5
754,8	94,8	210713	162243	Крышка люка картера
37166,4	146,4	287336	221248,7	Система удаления масла из рессивера
160920	412,8	73529	47794	Цилиндрический комплект
1365,6	165,6	50000	32500	ФГОМ
1578	378	50000	32500	ФТОМ
754,8	94,8	50000	32500	Центробежный фильтр
834	138	243131	158035	Маслозаборник
73356	271,2	175595	135208	Управление топливными насосами
36330	42	50000	32500	ФГОТ
36330	42	50000	32500	ФТОТ
1320	10	65848	42801,2	Топливопровод высокого давления
1612,8	52,8	243131	187211	ТНВД
1236	10	395088	304218	Топливопровод НД
37213,2	13,2	200000	154000	Топливоподкачивающий насос
6262,8	802,8	351189	270415	Форсунка
1266	66	300000	231000	Система смазки
37213,2	13,2	200000	154000	Бачок маслоотделительный
1273,2	73,2	42143	27393	Выхлопной коллектор
1254	54	47889	31128	Регулятор (смазка)
44100	4,8	185924	143161	Насос водяной
1209,6	9,6	30000	19500	Дифманометр
1228,8	28,8	50000	32500	Реле давления масла
1209,6	9,6	300000	231000	Предельный выключатель
1479,6	279,6	300000	231000	Смазка узлов согласно карте смазки

Продолжение табл.3.5

1	2	3	4	5
61320	165,6	316070	243374	ГГ и ВБ
60240	114	112882	86919	Выпрямительная установка
1446	246	263392	202812	Мотор-вентилятор
1282,8	82,8	790176	608435	Стартер-генератор
66000	828	49386	32101	ТЭД
2160	3609	632140	486748	Электродвигатели постоянного тока
37200	30	29266	19023	КУА
1320	131	26339	17120	Сопротивления ленточные
36360	150	25696	16702	АБ
1470	270	101958	78508	Манометры, термометры
1218	18	63214	41089	Датчики, зуммер
1300	23,7	243131	187211	Фильтр водяной
1354	83,8	33986	22091	Трубопроводы
1346	346,8	30000	19500	Кассеты воздухоочистки
13,2	13,2	632140	486748	Жалюзи ЭДТ
4,25	4,25	117063	76091	Стеклоочиститель
12,75	12,75	200000	154000	Стеклоомыватель
1239,6	39,6	23070	14996	Тифоны
1288,8	88,8	22290	14486	Система пескоподачи
1210,8	12,5	30000	19500	Глушитель
2889,6	489,6	25000	16250	Рама, шкворневой узел
37573,2	373,2	43297	28143	Рычажная передача тормоза
1324,8	124,8	30391	19754	Оборудование кузова
37320	135,6	33446	21740	КМБ
37350	440,3	101958	78508	Рессорное подвешивание
1562,4	362,4	250000	180000	Воздушный фильтр
25562,4	42	25000	16250	Система смазки
195,6	159,6	25000	16250	Контрольный осмотр

1	2	3	4	5
25800	159,6	400000	308000	Цилиндры ВД, НД
1206	363,6	25000	16250	Тормозное оборудование
1309,2	109,2	137422	105815	АЛСН
1255,2	55,2	263392	202812	Радиостанция
1927,2	727,2	25285	16435	Скоростемер
34,8	34,8	26560	17264	Жалюзи холодильной камеры
1346,4	146,8	999999	76999	ФНД
61800	348,4	108989	83921,5	Компрессоры

В соответствии с методикой и приведенной на блок-схеме (рис.3.10), программой и на основании исходных данных, приведенных выше, получены зависимости целевой функции для межремонтных пробегов, изменяющихся: для ТО-3 в пределах от  $S_{min} = 1000$  км до  $S_{max} = 30000$  километров с шагом  $yS = 500$  км; для ТР-1 в пределах  $S_{min} = 20000$  километров до  $S_{max} = 60000$  км с шагом  $yS = 1000$  км; для ТР-2 в пределах от  $S_{min} = 180000$  км до  $S_{max} = 300000$  км с шагом  $yS = 2000$  километров; для ТР-3 в пределах от  $S_{min} = 360000$  км до  $S_{max} = 500000$  км с шагом  $yS = 5000$  км. Для каждого межремонтного пробега  $S_i$  на ПЭВМ рассчитано значение целевой функции  $Q(S)$ .

В результате анализа получено, что минимальное значение целевая функция  $Q(S)$  достигает при межремонтном пробеге:

для ТО-3  $S_{opt} = 11500$  км;

для ТР-1  $S_{opt} = 46000$  км;

для ТР-2  $S_{opt} = 235000$  км;

для ТР-3  $S_{opt} = 455000$  км.

Графики зависимости межремонтного пробега  $S$  и целевой функции  $Q(S)$  приведены на рис. 3.19, 3.20.

Изменения целевой функции затрат от провоз  
для теплodoзoё 2ТЭ116

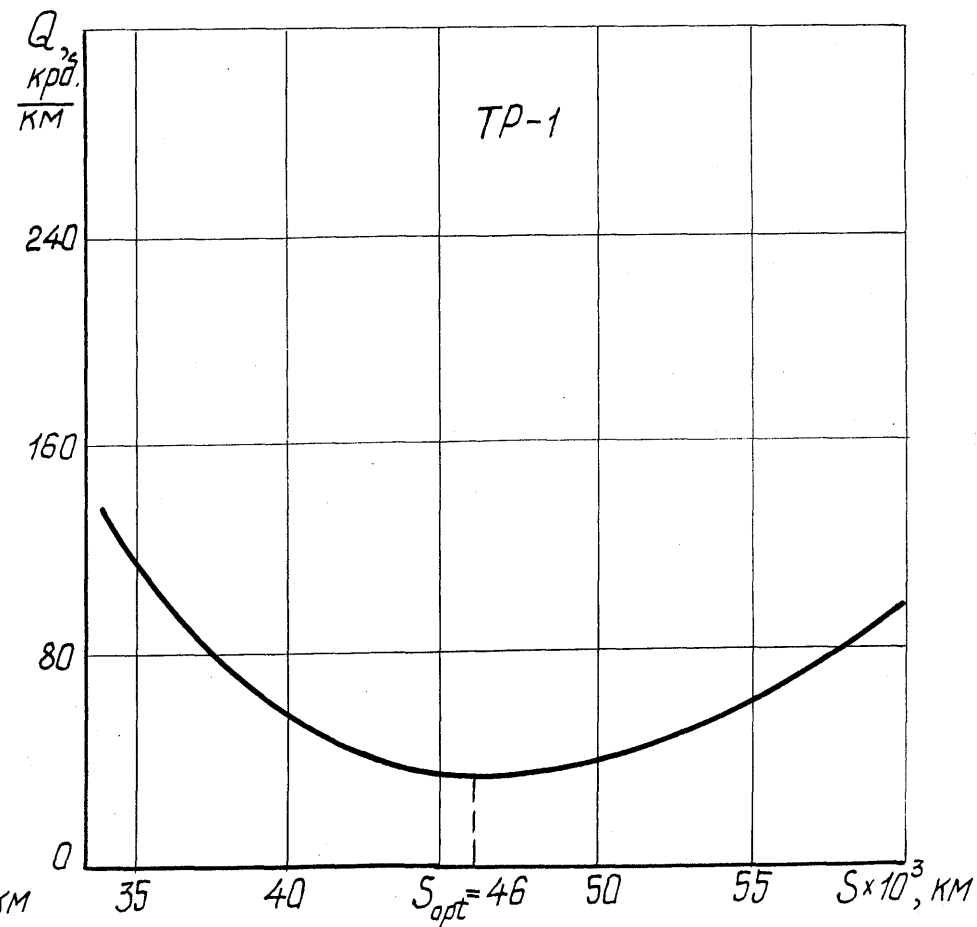
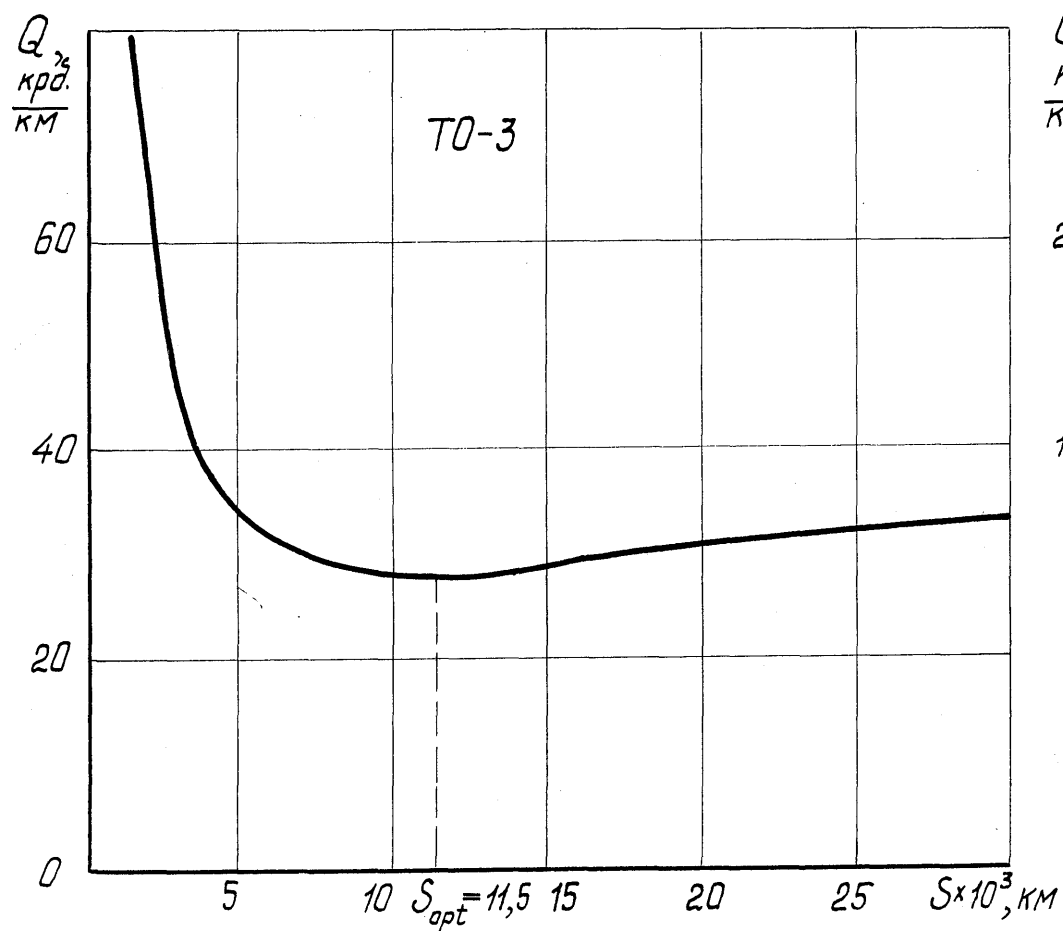


Рис. 3.19

Изменения целевой функции затрат от прооегТ между TP-2 и TP-3  
для теплоРозоо 2ТЭ11Б

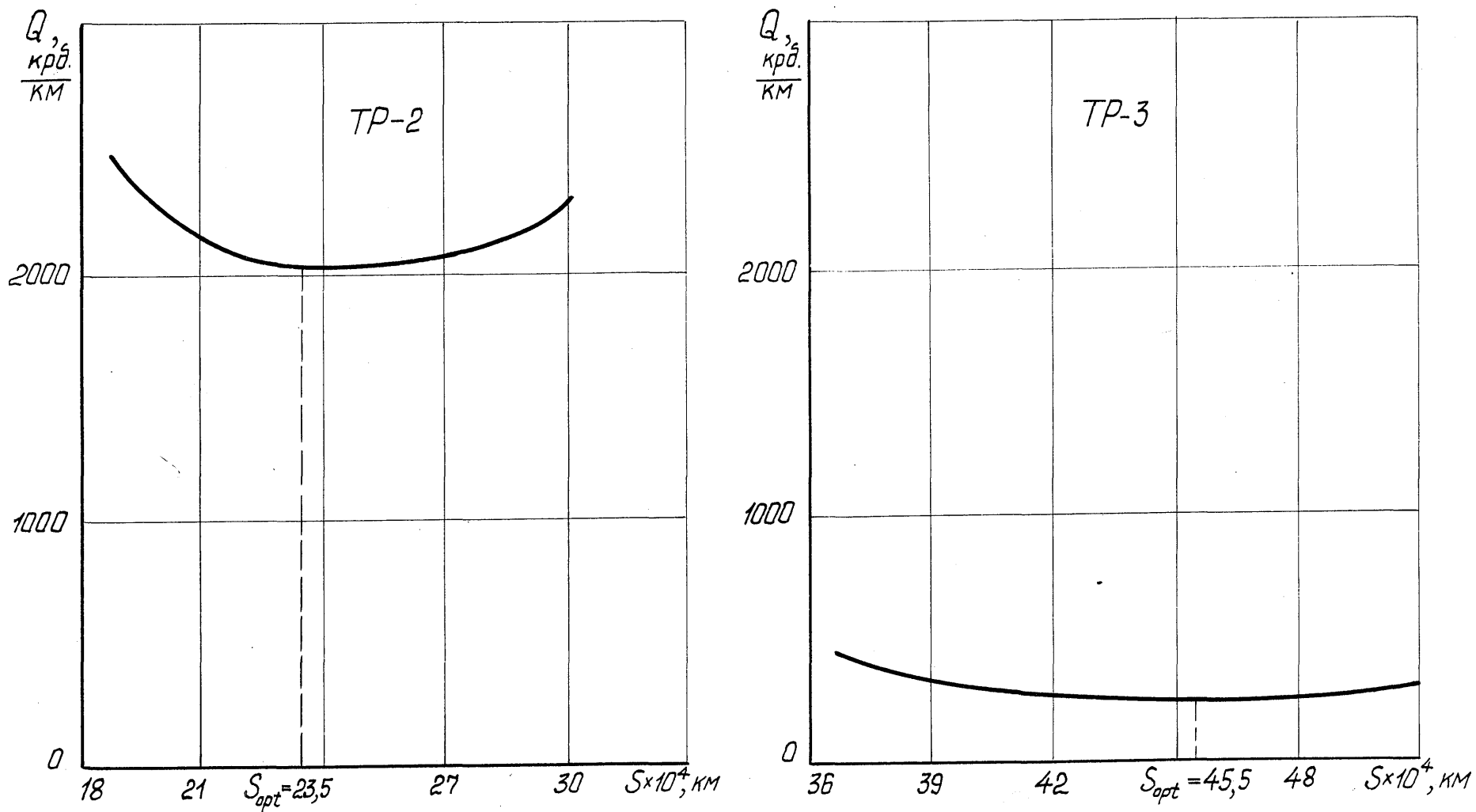


Рис. 3.20

## Корректировка межремонтных пробегов тепловозов ЧМЭ-3

Для корректировки межремонтных пробегов по тепловозам ЧМЭ-3 был собран исходный статистический материал в депо Харьков-Сортировочный Южной ж.д. В соответствии с приведенной методикой и программой ниже приведены необходимые исходные данные:

- $V = 10$  км/ч - среднетехническая скорость (по данным сетевого анализа);  
 $Al$  - потери от простоя на ТО и ТР (по данным депо);  
 $RT = 3$  кг/км - средний расход топлива, приведенный к 1 км (по данным сетевого анализа);  
 $RM = 0,05$  кг/м - средний расход масла, приведенный к 1 км (по данным сетевого анализа);  
 $ST$  - стоимость 1 кг топлива (по данным депо);  
 $SM$  - стоимость 1 кг масла (по данным депо).

Такие исходные данные, как  $E(1)$  - средняя наработка на отказ,  $SQ(I)$  - среднеквадратическое отклонение наработки,  $C(1)$  - стоимость плановых работ на ТО и ТР,  $R(I)$  - расходы на неплановые работы по каждому узлу приведены в виде одномерных массивов в таблице 3.6.

На основании данных расчета, полученных на ПЭВМ, построены зависимости целевой функции затрат от межремонтных пробегов между ТО и ТР, которые приведены на рис. 3.21 - 3.24.

Из полученных графиков видно, что оптимальные межремонтные периоды следующие:

$$S_{opt}^3 = 36,5 \text{ сут.}$$

$$S^1 = 8,6 \text{ мес.}$$

$$S^p t^2 = 17 \text{ мес.}$$

$$S_{opf}^3 = 33,18 \text{ мес.}$$

Исходные данные к программе расчета межремонтных пробегов  
тепловозов ЧМЭ-3

Таблица 3.6

Идентификатор переменной				Наименование детали
<b>R(I),Крб</b>	<b>C(1),крб</b>	<b>E(1)*10<sup>3</sup>,км</b>	<b>SQ(I)*10<sup>3</sup>, км</b>	
1	2	3	4	5
593,26	99,62	1460000	963600	Крышка люка картера
34296,4	975	182500	120450	Цилиндровый комплект
37485,29	50,26	547500	361350	ФГОМ
7784,06	47,15	36500	24090	ФТОМ
670,15	34,16	547500	361350	Центробежный фильтр
22084,52	296,96	273750	180675	Управление топливными насосами
47592,64	44,13	547500	361350	ФГОТ
8242,64	44,13	36500	24090	ФТОТ
6342,39	12,51	91250	60225	Топливопровод высокого давления
5644,04	208,92	91250	60225	ТНВД
2202,03	19,71	273750	180675	Топливопровод низкого давления
6057,97	14,45	273750	180675	Топливоподкачивающий насос
2432,90	336,38	43800	28908	Форсунка
8074,68	76,92	273750	180675	Выхлопной коллектор
6786,41	5,04	91250	60225	Насос водяной
8531,20	10,08	91250	60225	Насос водяной наддува воздуха
535,38	30,26	91250	60225	Реле давления масла
457,46	10,08	273750	180675	Предельный выключатель
73600,27	171,01	146000	96360	Электромашинны ГГ, ВГ
70653,80	174,00	91250	60225	Двухмашинный агрегат
83341	870,00	73000	48180	Тяговый электродвигатель
6407,14	377,04	91250	60225	Электродвигатели постоянного тока
367,452	30,00	91250	60225	Контакты управления
701,36	127,36	547500	361350	Сопровствления ленточные

Продолжение табл.3.6

1	2	3	4	5
2212,82	157,62	273750	180675	Аккумуляторная батарея
713,04	283,72	54750	36135	Электроманометры, электротермометры, датчики
544,51	18,91	54750	36135	Датчики, зуммер, электропривод
10240,80	79,44	91250	60225	Трубопроводы
4811,74	359,38	54750	36135	Приводы ЦВС, распредредуктор, компрессор
1925,88	364,43	54750	36135	Кассеты воздухоочистки
4270,54	364,43	54750	36135	Редуктор ЦВС
1028,70	13,87	273750	180675	Жалюзи ЭДТ
893,80	3,78	91250	60225	Стеклоочиститель
1062,07	40,35	273750	180675	Жалюзи холодильной камеры
960,01	41,61	273750	180675	Тифоны
1670,38	93,31	91250	60226	Системы пескоподачи
7151,87	11,35	54750	36135	Глушитель, компрессор, соединение глушителя
38492	514,49	1460000	963600	Рама опорно-возвращающего устройства, шкворневой узел
18552,86	392,17	91250	60225	Рычажная передача тормоза
6765,14	131,14	91250	60225	Оборудование кузова
128581,14	131,14	54750	36135	Колесно-моторный блок
4610,57	441,35	91250	60225	Рессорное подвешивание
1145,75	380,82	54750	36135	Воздушный фильтр
9214,03	167,71	54750	36135	Цилиндры ВД, НД
10397,14	382,08	73000	48180	Тормозное оборудование
2450,25	114,75	45625	30112,5	АЛСН
930,16	58,00	45625	30112,5	Радиостанция
1626,16	764,16	18250	12045	Скоростемер
5495	315,10	36500	24090	Автосцепка

Изменения целевой функции затрат от пр.  
между ТО-3 для теплосод серии ЧМЭ-3

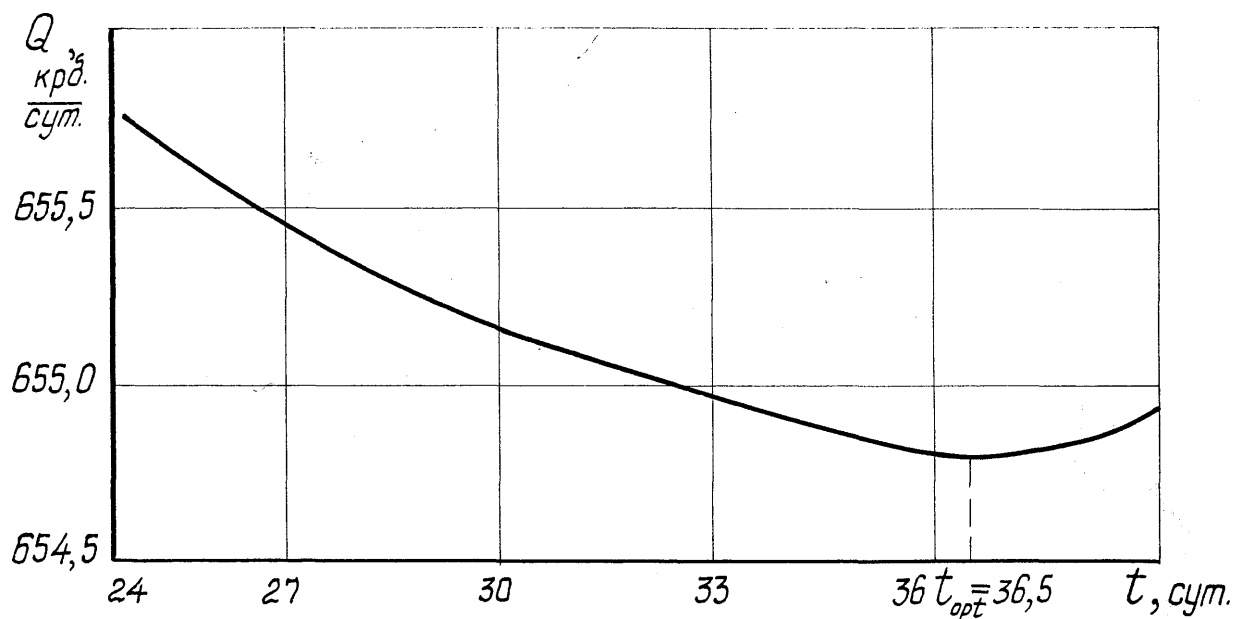


Рис. 3.21

Изменения целевой функции затрат от периода  
между ТР-1 для теплосод серии ЧИЭ-3

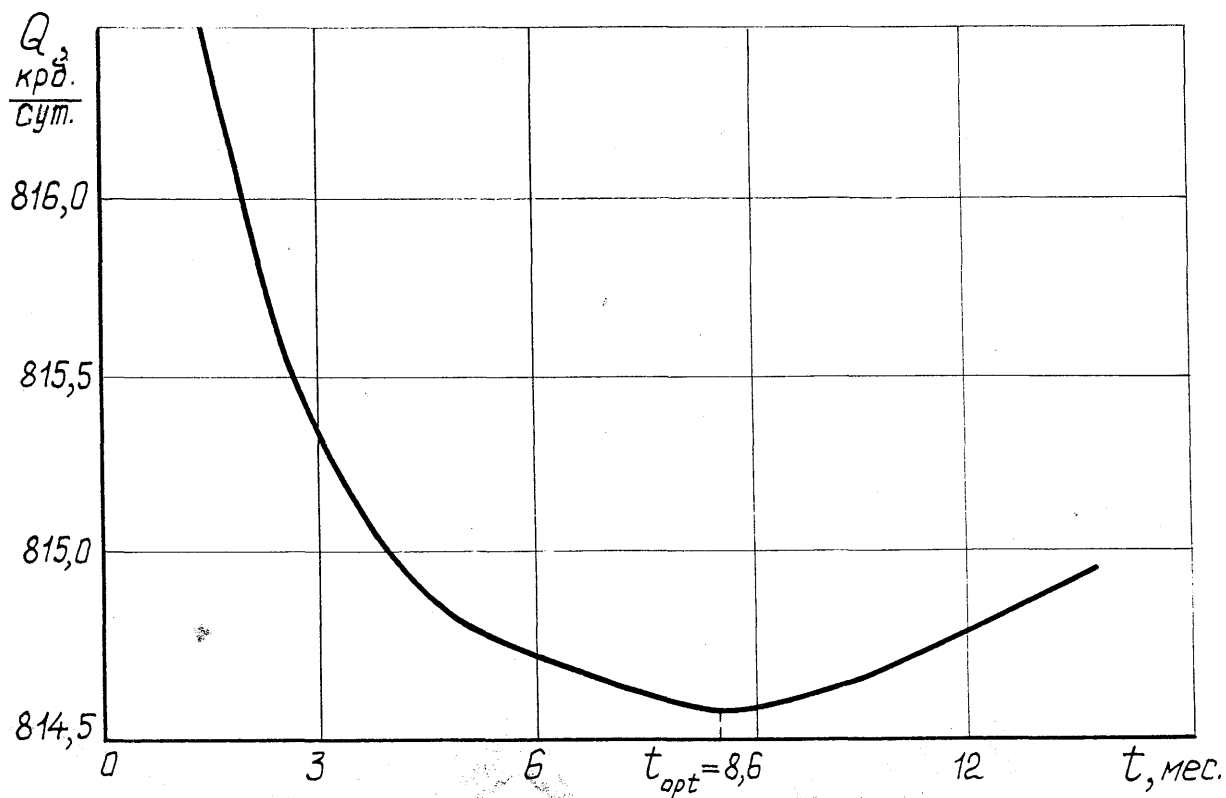


Рис. 3.22

Изменения целевой функции затрат от просрочек

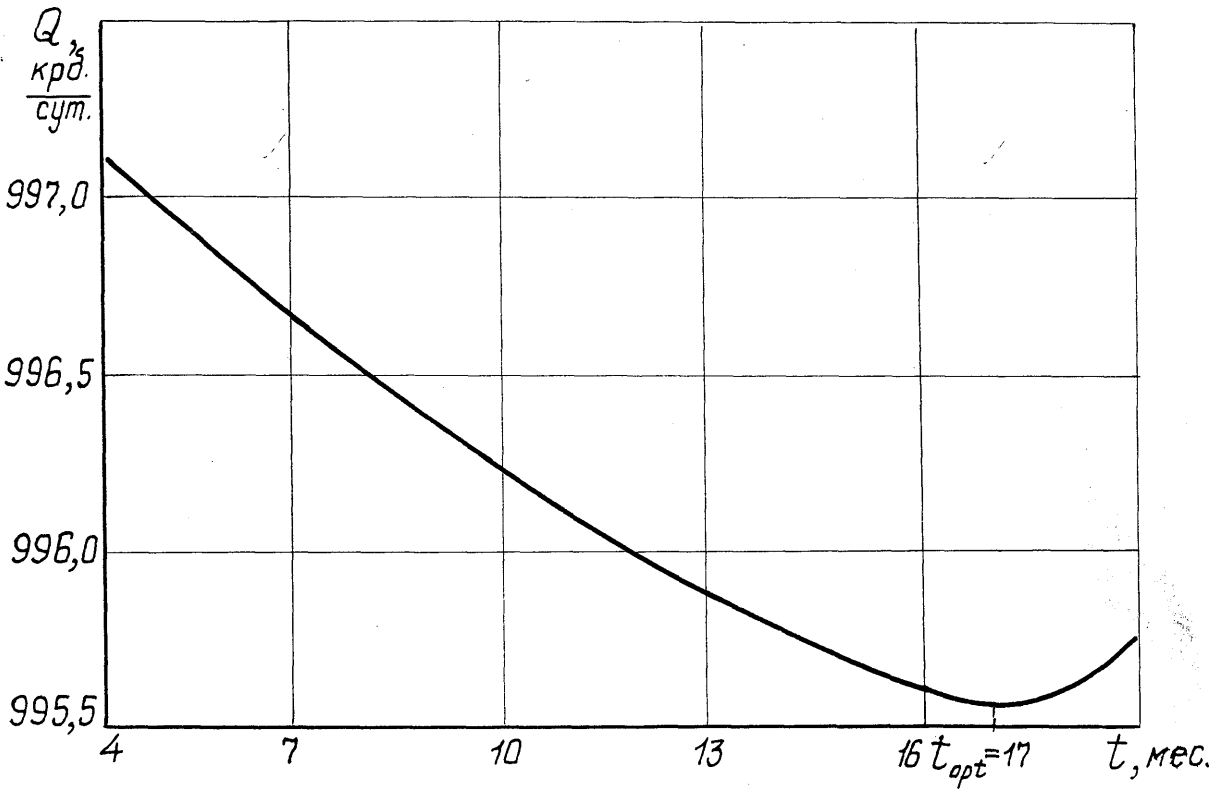


Рис. 3.23

Изменения целевой функции затрат от просрочек между ТР-5 для теплоизолирующей серии ЧМЭ-3

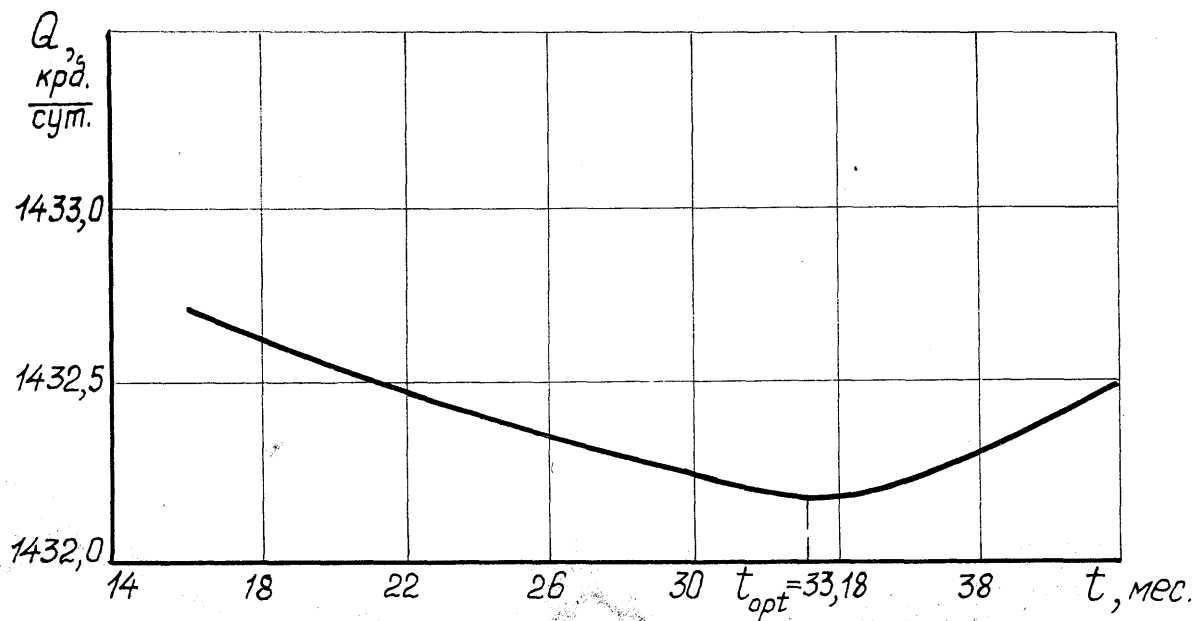


Рис. 3.24

Аналогичное моделирование и расчеты были проведены для всех серий локомотивов и МВПС, эксплуатирующихся на железных дорогах Украины. В результате определены оптимальные межремонтные пробеги и предложены соответствующие перечни операции на ТО и ТР.

Сравнивая полученные результаты с пробегами, приведенными в действовавшем приказе N 28Ц, можно сделать вывод, что для регионов Украины полученные межремонтные пробеги превышают существующие на 17-20%.

Анализируя характер целевых функций /рис. 3.11 - 3.24/, целесообразно отметить, что они достаточно медленно изменяются в области оптимумов. Изменение межремонтных пробегов в интервале  $S_{opt} \pm 10\%$  приводит к изменению целевой функции  $Q(S)$  не более, чем на 1%. Это позволяет при формировании системы ТОР обеспечить кратность нормативных межремонтных пробегов и периодов.

Предложенная выше методика и полученные результаты (нормативные межремонтные периоды) были доложены и переданы в Укрзалізицію с соответствующим программным обеспечением, что подтверждается актом внедрения (Приложение 1).

На основании полученных результатов разработан приказ N 187-Ц об улучшении технического содержания и использования тягового подвижного состава Украины *pg 49 42.95* взамен действовавшего приказа N 28Ц.

Оптимизация по данной целевой функции позволяет выбрать не только оптимальный межремонтный пробег, но и предложить, как указано выше, соответствующий перечень операций на ТО и ТР. Предложенная методика учитывает различную степень старения узлов и деталей локомотивов, позволяет осуществлять дифференцированный подход для каждой сборочной единицы в зависимости от номера ТО или ТР в ремонтном цикле. Полученная информация является основой для разработки адаптивных технологических процессов проведения ТО и ТР локомотивов [103-109].

С учетом изложенной выше концепции по выбору перечней работ /содержанию операций/ на ТО и ТР локомотивов разработаны программы для формирования комплектов технологической документации. Комплекты технологической

документации разработаны на основании действующих ГОСТов: ГОСТ 3.1102-81; ГОСТ 1103-82; ГОСТ 1105-84; ГОСТ 1118-82; ГОСТ 3.1120-83; ГОСТ 3.1122-83; ГОСТ 2.602-68.

В соответствии с ними в каждом локомотивном депо, применительно к конкретным условиям, должны быть разработаны и внедрены технологические процессы ТО и ТР, что является одной из основных функций технологической готовности депо.

Документы на ремонт локомотивов должны разрабатываться с учетом ремонтной конструкторской документации, разработанной по ГОСТ 2.602-68, типовых технологических процессов и другой нормативно-технической документации на ремонт, действующей в системе железнодорожного транспорта, а также отвечать приведенным ниже требованиям.

Комплектность документов определяет организация-разработчик. Состав необходимых документов, которые могут быть применены, устанавливается по ГОСТ 3.1102-81. Основной технологической документацией является: маршрутные карты /МК/, карты технологического процесса ремонта /КТПР/, карты технологического процесса дефектации /КТПД/, операционные карты /ОК/, карты эскизов /КЭ/. Данные документы могут использоваться в отдельности или в совокупности с другими. При отсутствии в комплекте основных документов данная документация не может иметь наименование "Технологический процесс" или "Типовой технологический процесс".

При оформлении технологической документации основные надписи следует применять для всех видов документов, предусмотренных ГОСТ 3.1102-81. Основная надпись представлена в виде шести информационных блоков.

- Блок 1 /Б1/ - блок адресной /поисковой/ информации;
- Блок 2 /Б2/ - блок состава исполнителей;
- Блок 3 /Б3/ - блок внесения изменений;
- Блок 4 /Б4/ - блок дополнительной информации;
- Блок 5 /Б5/ - блок вспомогательной информации;
- Блок 6 /Б6/ - блок вида и назначения документов.

Термины, определения, обозначения единиц физических величин, применяемые в документах, должны соответствовать действующим стандартам и научно-технической документации, действующей на предприятиях Укрзалізниці. Запись в

документах должна быть точной и лаконичной. Дублирование одинаковой документации не допускается. Общие требования к оформлению текстовых документов должны соответствовать ГОСТ 2.105-79. Номера операций следует нумеровать числами арифметической прогрессии /5, 10, 15 и т.д./. При описании содержания операции следует использовать глагол в повелительной форме /точить, сверлить, отремонтировать и т.д./. При комплектовании документов, входящих в комплект документации технологического процесса, сквозную нумерацию листов следует выполнять только в пределах одного обозначения документа.

На основании анализа действующих форм документов и применительно к специфике производства ТО и ТР локомотивов целесообразно в комплекте технологической документации иметь следующие документы:

- титульный лист /ТЛ/ является первым листом комплекта документов и оформляется в соответствии с ГОСТ 3.1105-84;
- ведомость технологических документов /ВД/ следует оформлять на формах 4 и 4а ГОСТ 3.1122-84;
- карты эскизов /КЭ/ применяются для разработки графических иллюстраций, таблиц к текстовым документам и выполняются на форматах ГОСТ 2.301-68; для разработки КЭ следует применять формы ГОСТ 3.1105-84; технические требования на КЭ излагаются в соответствии с требованиями ГОСТ 2.316-68;
- при производстве ТО и ТР локомотивов целесообразно применять маршрутно-операционное описание технологического процесса; форма маршрутных карт /МК/ должна соответствовать требованиям ГОСТ 3.1118-82; при разработке технологической документации на ТО и ТР тепловозов целесообразно использовать МК в форме КТПР и ОК.

Маршрутная карта (МК) является составной частью комплекта технологических документов, разрабатываемых на технологические процессы ремонта и дефектации локомотивов и их составных частей.

Формы МК являются унифицированными и их следует применять независимо от типа и характера производства и степени детализации описания технологических процессов.

При маршрутном и маршрутно-операционном описании технологического процесса МК является основным документом, на котором описывается весь технологический процесс в технологической последовательности.

Для изложения технологических процессов в МК используется способ заполнения, при котором информацию вносят построчно несколькими типами строк. Каждому типу строки соответствует свой служебный символ.

Служебные символы условно выражают состав информации, размещаемой в графах данного типа строки формы документа.

Постановка служебных символов является обязательной и не зависит от применяемого метода проектирования документов.

Указание соответствующих служебных символов для типов строк, в зависимости от размещаемого состава информации в графах МК следует выполнять в соответствии с табл. 3.7.

Таблица 3.7

Обозначение служебного символа	Содержание информации, вносимой в графы, расположенной на строке
■ А	Номер цеха, участка, рабочего места, где выполняется операция, номер операции, код и наименование операции, обозначение документов, применяемых при выполнении операции
Б	Код, наименование оборудования и информация по трудозатратам
К	Информация по комплектации изделия /сборочной единицы/ по составным частям с указанием наименования деталей, сборочных единиц, их обозначений, кода единицы величины, единицы нормирования, качества на изделие и нормы расхода
М	Информация о применяемом основном материале и исходной заготовке, вспомогательных и комплектующих материалах с указанием кода материала, кода единицы величины, единицы нормирования, количества на изделия и нормы расхода
О	Содержание операции /перехода/
Т	Информация о применяемой при выполнении операции технологической оснастке
Р	Информация по технологическим режимам

Информацию по применяемым на операции технологической оснастке записывают в следующей последовательности:

- приспособления;
- вспомогательный инструмент;
- режущий инструмент;
- слесарно-монтажный инструмент;
- специальный инструмент;
- средства измерения.

Запись следует выполнять по всей длине строки с возможностью, при необходимости переноса информации на последующие строки.

Разделение информации по каждому средству технологической оснастки следует выполнять через знак .

Последовательность заполнения информации по типам строк должны быть в следующей последовательности: А, Б, К, М, О, Т, Р.

Графы форм заполняются в соответствии с табл. 3.8.

Таблица 3.8

Номер графы	Наименование /устное обозначение графы/	Служебный символ	Содержание информации
1	2	3	4
1			Обозначение служебного символа, номер строки
2	Цех	А	Номер цеха, в котором выполняется операция
3	Участок	А	Номер участка, конвейера и т.п.
4	РМ	А	Номер рабочего места
5	Опер	А	Номер операции /процесса в технологической последовательности ремонта/, включая контроль и перемещение
6	Код, наименование операции	А	Наименование операции

Продолжение табл. 3.8

1	2	3	4
7	Обозначение документа	А	Обозначение документов, инструкций по охране труда, применяемых при выполнении данной операции. Состав документов следует указывать через разделительный знак
8	Код, наименование оборудования	Б	Код оборудования по классификатору, краткое наименование оборудования
9	Проф.	Б	Код профессии по классификатору ОКПДТР
10	Р	Б	Разряд работы, необходимый для выполнения операций
11	УТ	Б	Код условий труда по классификатору ОКПДТР и код вида нормы
12	КР	Б	Количество исполнителей, занятых при исполнении операции
13	КОИД	Б	Количество одновременно ремонтируемых деталей /сборочных единиц/ при выполнении одной операции
14	ЕН	В,К,М	Единица нормирования, на которую установлены нормы расхода материала или норма времени. Например, 1,10,100
15	ОП	Б	Объем производственной партии в штуках
16	Кшт	Б	Коэффициент штучного времени при станочном оборудовании
17	Тпз	Б	Норма подготовительно-заключительного времени на операцию
18	Тшт	Б	Норма штучного времени на операцию
19	Наименование дет., единицы или материала	К,М	Наименование деталей, сборочных единиц, материалов, применяемых при выполнении операции

Продолжение табл. 3.8

1	2	3	4
20	Обозначение, код	К,М	Обозначение деталей, сборочных единиц по конструкторскому документу или материалов по классификатору
21	ОПП	К,М	Обозначение подразделения /склада, кладовой и т.п./, откуда поступают комплектующие детали, материалы
22	ЕВ	К,М	Код единицы /массы, длины, площади и т.п./ детали заготовки, материала по классификатору СОВЕС. Допускается указывать единицы измер. величины
23	КИ	К,М	Количество деталей сборочных единиц, применяемых при сборке изделий; при разборке - количество получаемых
24	Нрасх	К,М	Норма расхода материалов

МК следует составлять по формам 2 и 16 ГОСТ 3.1118-82.

При применении формы МК в качестве Карты технологического процесса ремонта /КТПР/, Карты технологического процесса дефектации /КТПД/, Карты типового технологического процесса очистки /КТППО/, операционной карты наплавки /ОКН/ запись информации в строках со служебными символами А, Б следует выполнять по ГОСТ 3.1118-82.

Учитывая перспективы компьютеризации локомотивных депо и создания АРМ технологов, целесообразно логически довести разработку комплектов технологической документации до программного уровня. Как было указано выше, перечни операций на ТО и ТР формируются на основе минимизации целевой функции  $Q(S, m_1, m_2, \dots, m_n)$  о надежности и экономической целесообразности. Эти перечни работ являются основной информацией для КТПР и ОК, которые вносятся в строку со служебным символом "О".

Учитывая эту информацию и ориентируясь на ПЭВМ "Роботрон-1715", была разработана программа по формированию технологических документов /КТПР и ОК/ в системе управления реляционной базой "Ребус". Структурная схема этой программы приведена на рис. 3.25. Принимая во внимание, что блоки программ для обработки данных в строках с различными символами /"А", "Б", "К", "М", "О", "Т", "Ф", "С", "Р"/ идентичны и каждый содержит собственную базу данных и программы для работы с ней, общая структурная схема этих программ приведена на рис. 3.26. Программы обработки данных базы сгенерированы автоматически с помощью системы "Ребус-автомат" - по заданным ГОСТами макетам КТПР и ОК.

Таким образом, на основании методики и разработанного программного обеспечения был сформирован целый ряд комплектов технологической документации для проведения ТО, ТР, а также капитального ремонта в условиях депо для различных серий локомотивов /110-113/. Данные комплекты прошли техническую и метрологическую экспертизы и внедрены в ряде депо Южной железной дороги (депо Лозовая, Основа, Гребенка, Харьков-Сортировочная). Соответствующие документы о внедрении представлены в Приложении 1.

Структурная схема программы для обработки данных в строках КТПР

MQ 2 - переменная выбора /символ строки/

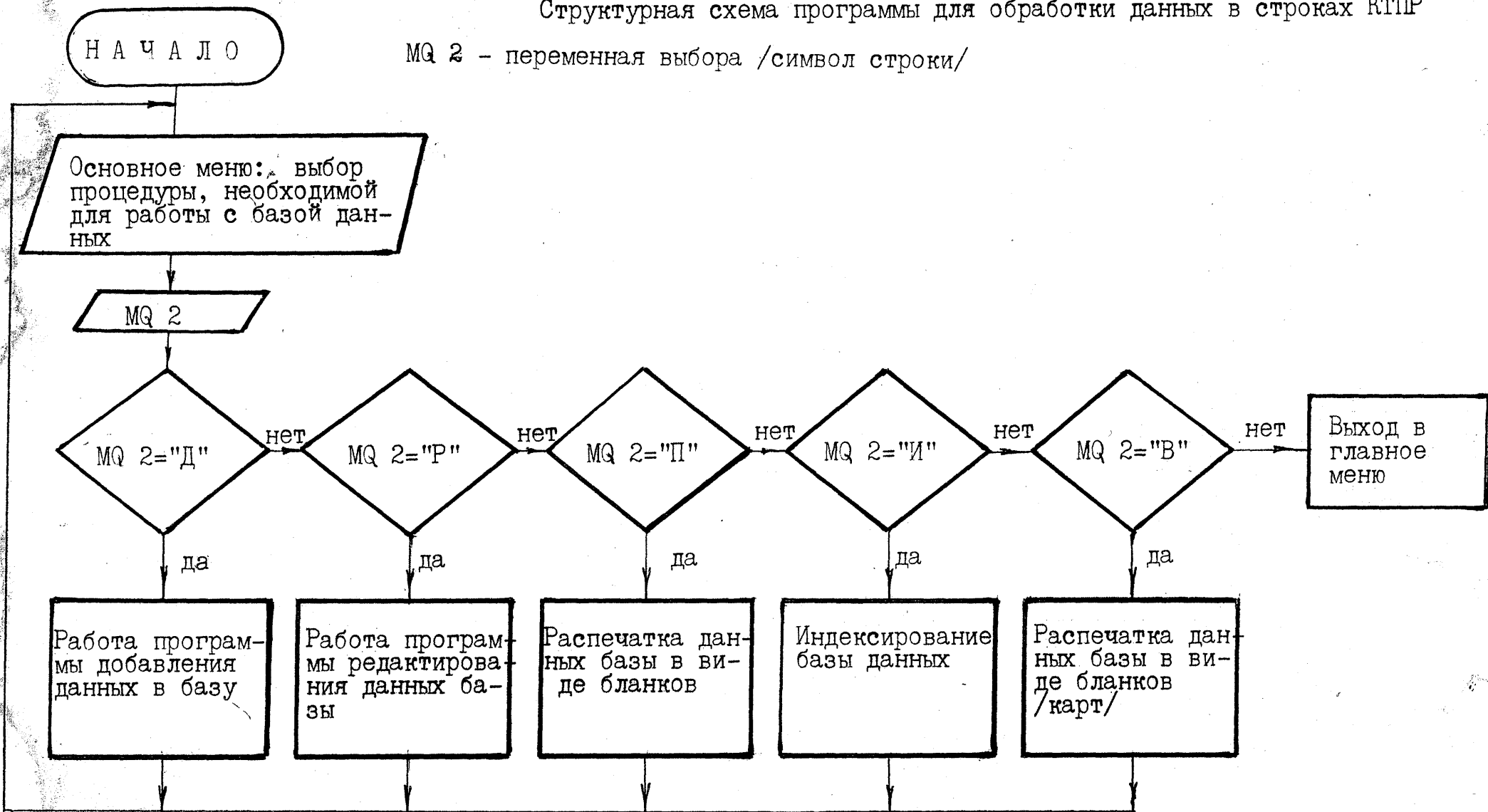


Рис •

#### **4. РАЗРАБОТКА МНОГОЦЕЛЕВОЙ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЕМОНТНЫХ УЧАСТКОВ ЛОКОМОТИВОВ В ДЕПО**

##### **4.1 а Выбор и обоснование критерия качества управления функционированием участков ТО и ТР локомотивов в депо**

Как отмечалось ранее, в условиях нестабильности экономики государства железнодорожный транспорт должен уметь адаптироваться к изменяющимся ситуациям: переменным грузо- и пассажиропотокам; нестабильной финансовой системе; ценам на топливо, электроэнергию, новый подвижной состав, запасные части и агрегаты; заработной плате своих работников и др. с целью обеспечения наибольшей эффективности его жизнедеятельности (функционирования). ■

Для нормального функционирования локомотивных депо и в частности основных его звеньев - участков и цехов ТО и ТР особенно важно установить оптимальный характер соотношений между размерами локомотивного парка, надежностью и долговечностью подвижного состава, его эксплуатационной и ремонтной технологичностью (ТКИ), технологией и организацией производства его технического обслуживания (ТО) и текущего ремонта (ТР), системой цикличности и периодичности ТО и ТР, наличием необходимых размеров запасов основных узлов и агрегатов, количеством квалифицированного персонала, ремонтных позиций и др..

При этом, отыскание таких оптимальных соотношений происходит под воздействием постоянно изменяющихся внешних факторов, т.е. процесс функционирования участков ТО и ТР является одновременно динамическим и стохастическим по своей природе. Таким образом участки ТО и ТР целесообразно представить в виде сложной динамической системы. Под сложной системой в данной случае понимается совокупность людских и материальных ресурсов, технических устройств, а также действующих нормативов, предназначенных для выполнения

некоторых функций, в данном случае - производства технических обслуживании и текущих ремонтов локомотивов.

Проектирование и создание высокоорганизованной системы ТО и ТР локомотивов в депо является оптимизационной задачей с большим количеством переменных, многих связей и ограничений.

Разработка математических моделей, описывающих процессы в таких системах, и их оптимизация представляет собой сложную и подчас неразрешимую задачу. Одновременная оптимизация многих переменных параметров, характеризующих состояние системы практически неосуществима в силу сложности математических моделей даже при использовании современных ЭВМ. Поэтому наиболее эффективно и целесообразно проводить оптимизацию составляющих частей (подсистем) и всей системы в целом, т.е. использовать принципы системного анализа. С учетом этого следует выделить наиболее существенные параметры, характеризующие функционирование рассматриваемой системы. Очевидно, что текущее значение каждого параметра характеризует состояние соответствующей подсистемы (составной части) в данный момент времени. И в дальнейшем эти понятия целесообразно бывает отождествлять.

Для участков ТО и ТР локомотивного депо основными характеристиками являются: размер локомотивного парка (инвентарного и эксплуатируемого) и типы локомотивов; характеристики эксплуатационной надежности и долговечности, как самих локомотивов, так и их основных узлов и агрегатов; цикличность и периодичность существующей системы ТО и ТР; технология и организация ТО и ТР; параметры эксплуатационной и ремонтной технологичности (ТКИ), заложенные на стадии изготовления локомотивов; размер необходимых страховых и технологических запасов основных узлов и агрегатов; количество ремонтных стоил, оборудования, площадей и соответствующее число квалифицированного ремонтного персонала. Каждая из указанных выше составных частей или подсистем должна учитывать все особенности, характерные для локомотивного депо и быть чувствительной даже к незначительным изменениям состояния системы.

Таким образом, уже на стадии проектирования локомотивных депо необходимо не только обеспечить оптимальные варианты организации функционирования в условиях статики, но и возможность эффективного функционирования (управления) во времени, рассмотрев процесс функционирования, как динамический.

Одним из важнейших вопросов, позволяющих достаточно эффективно и стабильно осуществлять производственные процессы на участках ТО и ТР в локомотивных депо является выбор и обоснование критериев эффективности и качества управления функционированием.

Вопрос о смысловом характере критерия может быть решен только на основе конкретного анализа условий работы и задач исследуемой системы, т.е. с позиций здравого смысла. При этом можно предложить много различных разумных критериев системы, которые с практической точки зрения более или менее равноценны, так как характеристики системы, оптимальные с точки зрения одного из критериев оказываются часто близкими к оптимальным и с точки зрения других разумных (т.е. учитывающих конкретные задачи и условия работы системы) критериев. А так как практически всегда бывает достаточно найти лишь близкие к оптимальным характеристики системы, то вопрос о выборе критериев с практической точки зрения имеет бесчисленное множество возможных решений. Выбор и научное обоснование критериев должен отвечать следующим требованиям:

- выражаться в количественной мере и допускать объективную оценку точными методами;
- количественная мера критериев должна объективно отражать результаты или ход решения задачи;
- количественная характеристика критерия должна быть чувствительной к изменяющимся условиям функционирования системы, что обеспечит быструю сходимость решения;
- иметь точное математическое выражение, т.е. быть математически формализованными;
- математическое выражение критерия должно быть функцией времени, учитывая, что рассматриваемый процесс функционирования - динамический;

- математическое выражение для описания критерия должно быть непрерывной функцией, а в случае наличия разрывов, его целесообразно доопределить.

Выбор критерия безусловно зависит и от масштаба решаемых задач. С учетом этого принципы системного анализа позволяют сформулировать общие критерии и частные критерии, характеризующие отдельные задачи, но в тесной взаимосвязи и единстве с общими. Целесообразность принятия того или иного решения диктуется прежде всего экономическими показателями качества функционирования систем, хотя необходимо учитывать и технические показатели. Это предъявляет определенные требования и к выбранным критериям. Обоснование критерия качества управления функционированием должно основываться на определении общего понятия эффективности с соответствующими количественными измерениями. А Подавляющая часть экономистов считает, что критерий эффективности производства представляет собой относительную величину результата этого производства, т.е. величина результата соотносится с затратами. Поэтому на данном этапе развития экономической науки представляется удовлетворительным использовать в качестве критерия оптимизации сумму текущих затрат и капитальные вложения в виде приведенных затрат. В работах [44, 114 - 116] предлагается при формировании обобщающего критерия оптимизации осуществлять отражение выполненного объема с одной стороны и совокупность экономических показателей, комплексно характеризующих величину и показатели использования всех ресурсов - материальных, технических, трудовых, финансовых и временных. Таким образом, уровень эффективного и стабильного функционирования участков ТО и ТР локомотивов в депо целесообразно контролировать по критерию, который бы включал в себя в той или иной форме все виды затрат на выполнение ремонтных работ.

Учитывая приведенные выше соображения, уровень эффективного и стабильного функционирования участков ТО и ТР в локомотивном депо целесообразно определять отношением или абсолютным значением разности показателя качества функционирования системы в данном ее состоянии и показателя качества функционирования в идеальном состоянии. Назовем эти выражения

критерием качества управления функционированием участков ТО и ТР локомотивного депо. При этом уместно отметить, что достаточно распространенным и изученным [117, 118] является критерий в форме математического ожидания квадрата модуля разности показателей качества в идеальном и реальном состояниях системы.

В данной работе критерий качества управления выбран в форме отношения.

Показатель качества функционирования участков ТО и ТР - определим, (как математическое ожидание характеристики качества функционирования системы  $\bar{F}$  данный момент времени  $t$ :

$$F(t) = M [ Fy(t) ],$$

где  $F(t)$  - функция вектора  $Y(t)$ , описывающего состояние системы и равная

$$F[Y(t)].$$

$$Y(t) = Y[X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t)]J,$$

где  $X_i(t)$  - компоненты вектора, которые являются функциями, описывающими состояния каждой частичной подсистемы или частичной характеристики.

Показатель качества функционирования идеальной системы  $F_0(t)$  определяется аналогичным образом.

Тогда критерий качества управления в момент времени  $t$  определим как,

$$D(t) = F(t) / F_0(t),$$

где  $F(t)$  и  $F_0(t)$  - мгновенные оценки качества функционирования реальной и идеальной системы соответственно.

Интегральный критерий качества управления в интервале времени  $t_1 < t < t_2$  определим, как:

$$\int_{t_1}^{t_2} D(t) dR(t),$$

где  $R(t)$  - некоторая "весовая" функция.

Интегральный критерий качества управления функционированием участков ТО и ТР  $\delta(t)$  получается путем усреднения относительного критерия', качества



управления  $D(t)$  в интервале времени  $t_1 < t < t_2$ , с помощью "весовой" функции  $R(t)$ .

4

При  $R(t) = t$  критерий  $\delta [t_1, t_2]$  имеет размерность времени и характеризует стабильность качества функционирования системы в течение времени  $t$ .

При выборе физического смысла критерия качества управления функционированием участков ТО и ТР локомотивов необходимо учесть два аспекта;

- что конкретно оценивать;

! ?

- какие факторы наиболее влияют и обеспечивают стабильное функционирование рассматриваемой системы.

, '

Для участков ТО и ТР локомотивного депо критерий качества управления  $D(t)$  целесообразно определить отношением фактической пропускной способности  $A(t)K$  пропускной способности системы при абсолютно идеальных условиях  $A_0(t)$ . В терминах приведенных ранее  $F(t) = A(t)$  и  $F_0(t) = A_0(t)$ .

Однако такой показатель качества не учитывает материальных и трудовых затрат, связанных с проведением ТО и ТР локомотивов в депо. Поэтому, чтобы оценить эффективность функционирования системы ТО и ТР и отразить экономические аспекты, целесообразно определять суммарные издержки на содержание обслуживающих систем и издержки от простоя локомотивов в ожидании ремонта. В общем виде такой показатель качества выражается как

$$R(t) = C_1 * M [ t_{ож} ] + C_2 * M [ t_{пр} ],$$

\*

где  $M [ t_{ож} ]$  - математическое ожидание времени нахождения локомотива в очереди;

s

$M [ t_{пр} ]$  - математическое ожидание времени простоя ремонтных стоил с

-

комплексными бригадами;

}

$C_1$  - стоимость простоя одного локомотива в единицу времени в очереди;

у

$C_2$  - стоимость простоя стоила с бригадами в единицу времени.

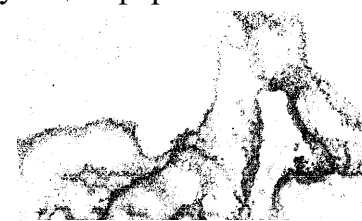
л

Через  $R_0(t)$  обозначим соответствующие издержки для систем ТО и ТР, работающей

в идеальном режиме. Причем

$$F(t) = R(t), \text{ а } F_0(t) = R_0(t).$$

Другой, но близкий по смыслу, критерий качества управления, учитывающий суммарные экономические издержки, удобно представить в следующей форме:



$$U(t) = C_1 r + C_2 L,$$

где  $\Gamma$  - математическое ожидание количества локомотивов, простаивающих в очереди перед ремонтным участком за данный период наблюдения  $t$ ;

$L$  - математическое ожидание числа простаивающих ремонтных позиций, за исследуемый период наблюдения  $t$ ;

$C_1$  и  $C_2$  - имеют аналогичный смысл и размерность, что и в предыдущем критерии.

В соответствии с принятыми обозначениями

$$F(t) = U(t), aF_o(t) = U_o(t).$$

В качестве экономического показателя качества можно также принять суммарные приведенные затраты на одно ТО и ТР

$$W = f(M, n, P_8, t),$$

где  $M$  - математическое ожидание количества проведенных ТО или ТР за время  $t$ ;

$n$  - количество стойл;

$P_8$  - количество комплексных бригад.

В аналитическом виде эти затраты можно определить следующим образом

$$\frac{C_0 + E_n * K}{M},$$

где  $C_0$  - суммарные затраты на содержание системы и проведение ТО и ТР;

$E_n$  - нормативный коэффициент эффективности;

$K$  - капитальные затраты при данном варианте организации системы ТО и ТР.

В используемых нами терминах  $F(t) = W(t)$  и  $F_o(t) = W_o(t)$ . Использование того или

иного показателя качества определяется условиями, в которых решаются задачи по стабилизации функционирования участков ТО и ТР локомотивов в депо.

Целесообразно и комплексное использование разных показателей.

Принимая во внимание изложенные выше соображения, делаем вывод, что каждому состоянию системы участков ТО и ТР локомотивов в депо, описываемому вектором  $Y(t)$ , соответствуют определенные значения показателей качества

$F_y(t) = F|Y(t)|$  относительного и интегрального критериев качества управления

$D(t)$  и  $S_{jtjzt}$  - Причем компонентам вектора  $Y(t) = Y_p^t X X_z C t V' X_n C t$ ] целесообразно придать физический смысл частичных характеристик функционирования участков ТО и ТР, приведенных ранее, а именно: размер локомотивного парка, характеристики эксплуатационной надежности локомотивов, система цикличности и периодичности ТО и ТР, параметры эксплуатационной и ремонтной технологичности, оборотные запасы узлов и агрегатов, количество ремонтных стоил и комплексных бригад, режим работы.

Следовательно, математической моделью функционирования участков ТО и ТР являются случайные процессы

Показатели качества функционирования участков ТО и ТР - через которые ' определены критерии качества управления  $D(t)$  и в каждой из предложенных форм: пропускная способность  $A(t)$ ; суммарные издержки от простоя ремонтных участков и издержки от простоя локомотивов в ожидании ремонта  $R(t)$  и  $U(t)$ ; суммарные приведенные затраты на одно ТО и ТР -  $W = f(M, n, P_s, t)$ , являются в конечном итоге функциями показателей мощности исследуемой системы. При этом существующее понятие производственной мощности [119 - 121] становится слишком узким. В данной работе предлагается под термином "производственная мощность" участков ТО и ТР понимать комплексное определение, включающее совокупность вероятностных понятий: пропускная способность участков ТО и ТР, временные характеристики ожидания и обслуживания локомотивов, вероятности отказов в обслуживании, длина очереди, количество занятых и простаивающих ремонтных позиций и комплексных бригад ремонтников. На этой основе целесообразно уже пользоваться понятием "оптимальная мощность" участков ТО и ТР.

Такой вероятностный подход к понятию "производственная мощность", а следовательно к вопросам проектирования и реконструкции, функционирования и управления объектами локомотивного хозяйства должен быть основан на глубоком и всестороннем изучении многих факторов и составных частей в их тесной связи и

взаимовлиянии. Объекты локомотивного хозяйства и в частности участки ТО и ТР представляют собой организационно сложную систему, в состав которой входят: подвижной состав, производственные комплексы, обеспечивающие поддержание у *СОСГОЯИИИ J*

подвижного состава в технически исправном/материальные и трудовые ресурсы. При этом участки ТО и ТР как сложная система функционирует дискретно в пространстве состояний и непрерывно во времени. -

Таким образом, для определения аналитических зависимостей и вычислительных процедур, на основании которых можно оценить критерий качества управления в той или иной форме, необходимо разработать соответствующие методики и алгоритмы для расчета показателей производственной мощности ремонтных участков локомотивов в депо.

#### **4.2<sub>в</sub> Создание и обоснование стохастической модели обслуживания локомотивов в депо**

Как показано в проведенных ранее исследованиях [8, 102; 122 - 126] для оценки показателей мощности участков ТО и ТР локомотивов наиболее адекватными являются модели массового обслуживания.

При построении таких математических моделей исходным материалом является совокупность наблюдений над моделируемой системой. Путем проверки различного рода гипотез, оценки параметров и т.д. определяются вид модели и законы распределения, задающие ее динамику.

Как известно, теория массового обслуживания (ТМО) имеет дело со стохастическими моделями, которые описывают преобразования случайных потоков требований (локомотивов) в результате их обслуживания на приборах (участках ТО и ТР). Динамика моделей массового обслуживания определяется как правило, последовательностями случайных величин, например интервалами между моментами времени прохода локомотивов через контрольный пост депо (входящий поток) и длительностью обслуживания (обслуживающий поток). Отдельные составляющие

модели обслуживания (потоки, стойла с комплексными бригадами и оборудованием, очереди и т.д.) назовем ее компонентами.

Последовательности и величины, определяющие работу компонент составляет входные данные модели. Обозначим их через  $B$ . Выходные данные (обозначим их  $V$ ) для моделей обслуживания часто являются случайными последовательностями и случайными процессами. По физическому смыслу, в связи с поставленным заданием, выходные данные  $V$  представляют собой искомые характеристики производственной мощности участков ТО и ТР локомотивов в депо. Кроме упомянутых последовательностей для определения модели обслуживания необходима структурная информация - дисциплина постановки в очередь, дисциплина обслуживания, порядок работы системы и т.п. Данная информация определяет вид преобразования  $O$  4 входных данных  $B$  в выходные  $V$ :  $V = O(B)$ .

Модель массового обслуживания задана, если задано  $O$  преобразование входных данных в выходные, а также сам состав входных данных [127 - 13ф]. Это предполагает, что для данного преобразования  $O$  задана область определения  $B$  (множество, в котором принимают значения входные данные  $B$ ) и область значений  $V$  (множество, которому принадлежат выходные данные  $V$ ), т.е.

$$O: B \rightarrow V.$$

На основе априорной информации и эмпирических данных о функционировании системы участков ТО и ТР в депо были определены классы распределений, задающих динамику модели [8, 102, 137]. Это в основном - экспоненциальный класс а класс >

Тгиперэрланговских распределений. Помимо этого, проведено восстановление точного вида указанных выше распределений и оценка их параметров [102].

Таким образом, согласно логике стохастических моделей обслуживания каждый из исследуемых участков ТО и ТР локомотивов в депо, целесообразно рассматривать как некоторую систему, состояние которой меняется с течением времени под действием поступающих на обслуживание или ремонт локомотивов. Процесс проведения ТО и ТР, который необходимо анализировать с точки зрения определения показателей мощности (они принадлежат множеству  $V$ ) ремонтных

участков, представляется как стохастический процесс, ход и исход которого зависит от ряда случайных факторов, сопровождающих обслуживание или ремонт локомотивов.

Как было указано ранее, неотъемлемой частью разработки математической модели реальной системы является статистическое исследование потоков, т.е. выявление их структурных и количественных характеристик. Общая схема функционирования системы (участков ТО и ТР локомотивов в депо) и дисциплина очереди устанавливается путем наблюдений, а приведение модели в количественное соответствие с конкретной системой массового обслуживания достигается путем статистического анализа эмпирических данных, оценивания фигурирующих в модели параметров и проверок исходных гипотез.

Для оценки функций распределения входящего потока и функции, распределения времени обслуживания (обслуживающих потоков) был проведен и регулярно продолжает проводиться сбор статистических данных в шести депо Южной ж.д., Юго-Западной ж.д. и Донецкой ж.д., начиная с 1981 г. по настоящее время с последующей их обработкой. Исходные статистические данные берутся из соответствующих форм учета, а также собираются путем визуальных наблюдений на контрольном посту и участках ТО и ТР в депо.

В качестве исходных данных, характеризующих входящий поток локомотивов на тот или иной вид обслуживания, служили длины интервалов времени между последовательными проходами локомотивов через контрольный пост депо при поступлении на ТО и ТР. В качестве исходных данных, характеризующих поток "обслуживания", являлись длины интервалов времени соответствующего вида обслуживания или ремонта.

При проведении исследований во всех случаях были приняты следующие обозначения: интенсивности входящих потоков локомотивов на ТО, ТР и НР обозначены через  $X$ , а интенсивности соответствующих потоков обслуживания через  $\lambda_i$ . Интенсивность входящего потока  $\lambda = \frac{1}{T_{\text{ср}}}$ , где  $T_{\text{ср}}$  - математическое

$$\lambda = \frac{1}{T_{\text{ср}}} = \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n t_i}$$

ожидание случайной величины времени между двумя последовательными заходами

локомотивов на ремонтные стойла для проведения ТО, ТР и НР. Интенсивность потока обслуживания  $\mu$   $\frac{1}{m}$ , где  $\mu$  - математическое ожидание

случайной величины времени пребывания на стойле при проведении ТО, ТР и НР.

Важным допущением в наших исследованиях являлось отсутствие в системе влияния начального состояния и установления равновесного или стационарного режима. Т.е. система продолжает изменяться, но распределения, описывающие ее, будут постоянными во времени и можно вычислить средние значения, отклонения от них и т.д. Необходимо отметить, что для анализа нестационарных процессов можно использовать результаты, полученные в предположении о том, что условия стационарности выполняются, если рассматриваемый интервал времени наблюдения разбить на периоды, в пределах которых поведение системы можно считать стационарным. При осуществлении такого разбиения были использованы так называемые процедуры проверки статистических гипотез, основанные на критерии Вилкоксона [138, 139].

Как было указано выше, исследования динамики модели (входящих потоков и потоков обслуживания) регулярно проводятся, начиная с 1981г. При этом создана значительная база данных, которые обрабатывались на ПЭВМ ежемесячно, поквартально и за полугодие. Длительность наблюдений позволяет судить о достоверности полученных результатов. На основании статистических данных были построены гистограммы распределений и оценены такие параметры, как математическое ожидание  $m_i$ , среднее квадратическое отклонение  $Q_i$ , коэффициент

вариации  $U' = \frac{a_i}{m_i}$ , интенсивности входящего потока  $X_i$  и потока обслуживания  $\mu_i$ ,

коэффициент Эрланга  $K_0 = \frac{1}{\sqrt{m_i}}$ . Следующим этапом явилась проверка

гипотезы относительно законов распределений. При этом использовалась стандартная техника подбора вида распределения [140 - 142], основанная на применении критерия  $\chi^2$  - Пирсона и параллельно-на критерии Колмогорова-Смирнова  $K_h$  при

уровне значимости  $\alpha = 0,05$  путем использования усовершенствованных стандартных программ на ПЭВМ типа IBM PC/AT.

Исследования входящих потоков и потоков обслуживания локомотивов, произведенные в основном лично автором, проводились, начиная с 1981 г. по настоящее время, в следующих депо: Основа, Гребенка, Кременчуг Южной ж.д.; Красный Лиман, Попасная Донецкой ж.д.; Жмеринка Юго-Западной ж.д.. При этом объем контролируемых выборок был более 400.

Как показал анализ депо как правило совмещаются на одних и тех же стойлах технические обслуживания ТО-3, текущие ремонты ТР-1 и неплановые ремонты. Хотя в некоторых депо эти виды обслуживания и ремонтов производятся на специально выделенных ремонтных позициях. Учитывая это, исследовался как суммарный поток локомотивов, так и отдельные потоки поступлений и обслуживаний на ТО-3, ТР-1 и НР.

При исследовании входящих потоков на ТО-3 подтвердилась выдвинутая гипотеза о том, что случайная величина интервалов времени между последовательными поступлениями локомотивов за весь наблюдаемый период подчиняется экспоненциальному закону распределения с плотностью  $f(t) = X * \exp(-Xt)$  при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ . Это дает возможность сделать вывод о том, что входящий поток локомотивов на ТО-3 близок к простейшему (или стационарному пуассоновскому) с интенсивностью  $X = \frac{y}{U} \cdot \frac{1}{\text{мп}}$  и обладает всеми его свойствами: стационарностью, ординарностью и отсутствием последствия. Гистограммы распределений и выравнивающие их зависимости за различные периоды наблюдений приведены на рис.4.1.

При проведении статистических исследований входящих потоков локомотивов на текущий ремонт ТР-1 получены следующие результаты: наиболее близкими к эмпирическому распределению промежутков времени между заходами локомотивов в депо для проведения ТР-1 являются экспоненциальное распределение с плотностью  $f(t) = X * \exp(-Xt)$  и распределение Эрланга 2-го порядка с плотностью

Распределение промежутков времени между последовательными поступлениями  
тепловозов серии 2ТЭП6 па ТО-3 в депо Г за различные периоды наблюдений

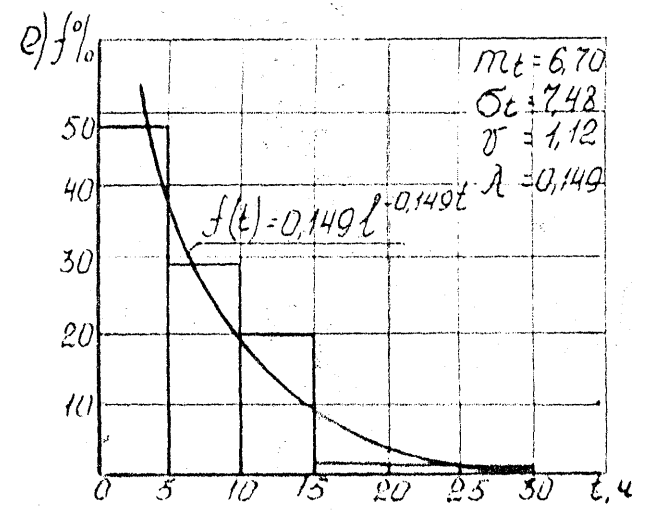
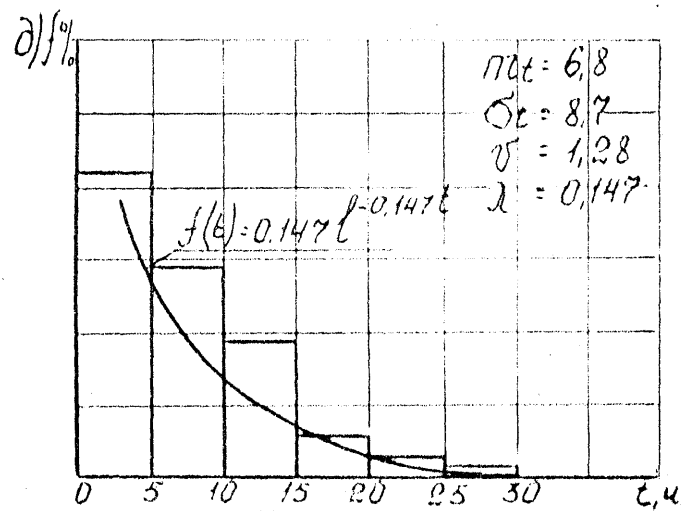
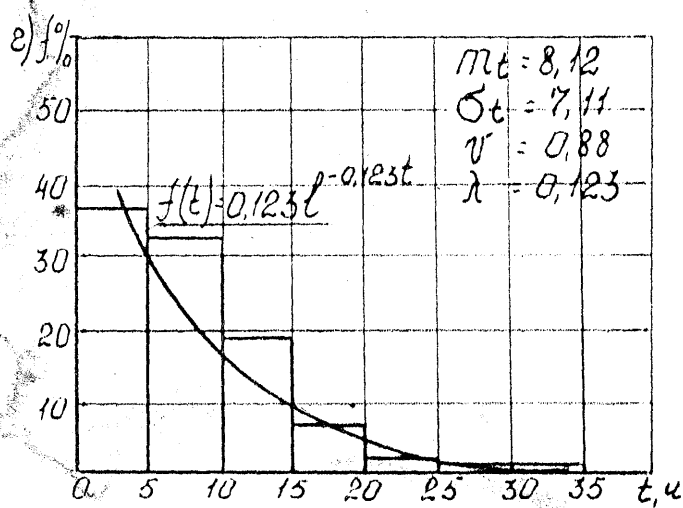
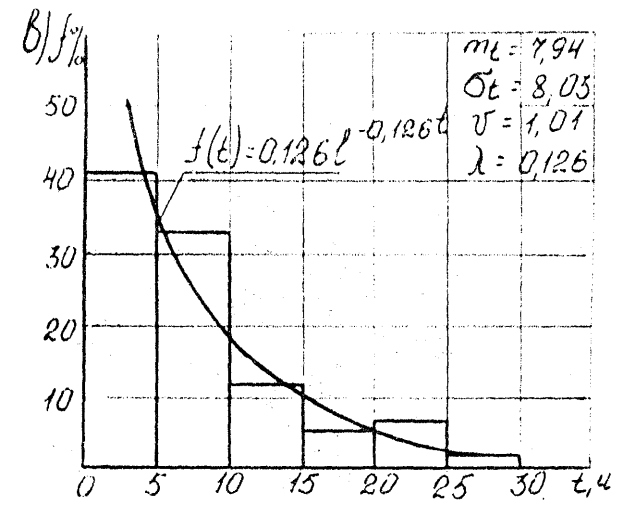
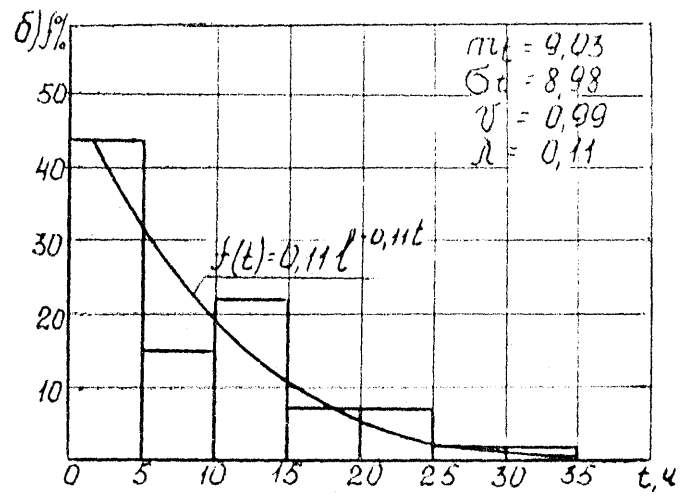
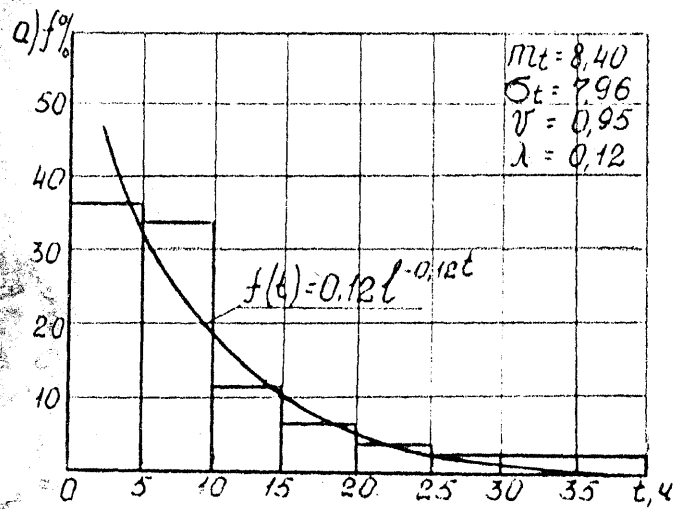


Рис. 4.1

$f(t)=(2X)^2*t*\exp(-2Vt)$ . Эта гипотеза была подтверждена критериями согласия  $\chi^2$  - Пирсона и Колмогорова-Смирнова  $Kx$ . Таким образом, входящий поток локомотивов на ТР-1 уже не всегда является простейшим, а процесс, протекающий в системе, уже не марковский, т.к. он обладает частичным последствием. Гистограммы распределений и выравнивающие их зависимости за различные периоды наблюдений приведены на рис.4.2.

При проведении статистических исследований входящих потоков локомотивов на неплановый ремонт подтвердилась гипотеза о близости этих потоков простейшему. Соответствующие гистограммы и выравнивающие их зависимости проиллюстрированы на рис.4.3.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что входящие потоки локомотивов в депо на исследуемые ремонтные участки являются в большинстве случаев простейшими. А учитывая специфику функционирования локомотивных депо, которые в основном совмещают проведение ТО-3, ТР-1 и НР на одних и тех же ремонтных позициях, суммарный поток локомотивов тем более близок к простейшему. Это также подтверждено соответствующими статистическими исследованиями [102, 125]. Пределы измерений параметров входящих потоков локомотивов и плотности распределений для исследуемых участков ТО-3, ТР-1 и НР за период наблюдений с 1981 по 1990 г.г. включительно приведены в табл. 4.1 и 4.2.

Таблица 4.1.

Параметры входящих потоков локомотивов			
Вид обслуживания или ремонта	Пределы измерения параметров		
	$m_t, \text{ч}$ $1_{\text{МП}}$	$a_t, \text{ч}$	
ТО-3	3,60 - 13,04	3,20 - 10,43	0,73 - 1,10
ТР-1	23,96-57,71	14,00 -35,75	0,56 - 0,84
НР	5,12-27,57	6,41-29,56	0,86 - 1,23

Распределение промежутков времени между поступлениями теплобозои серии 2ТЭ116 на ТР-4 б депо Г за различные периоды наблюдения

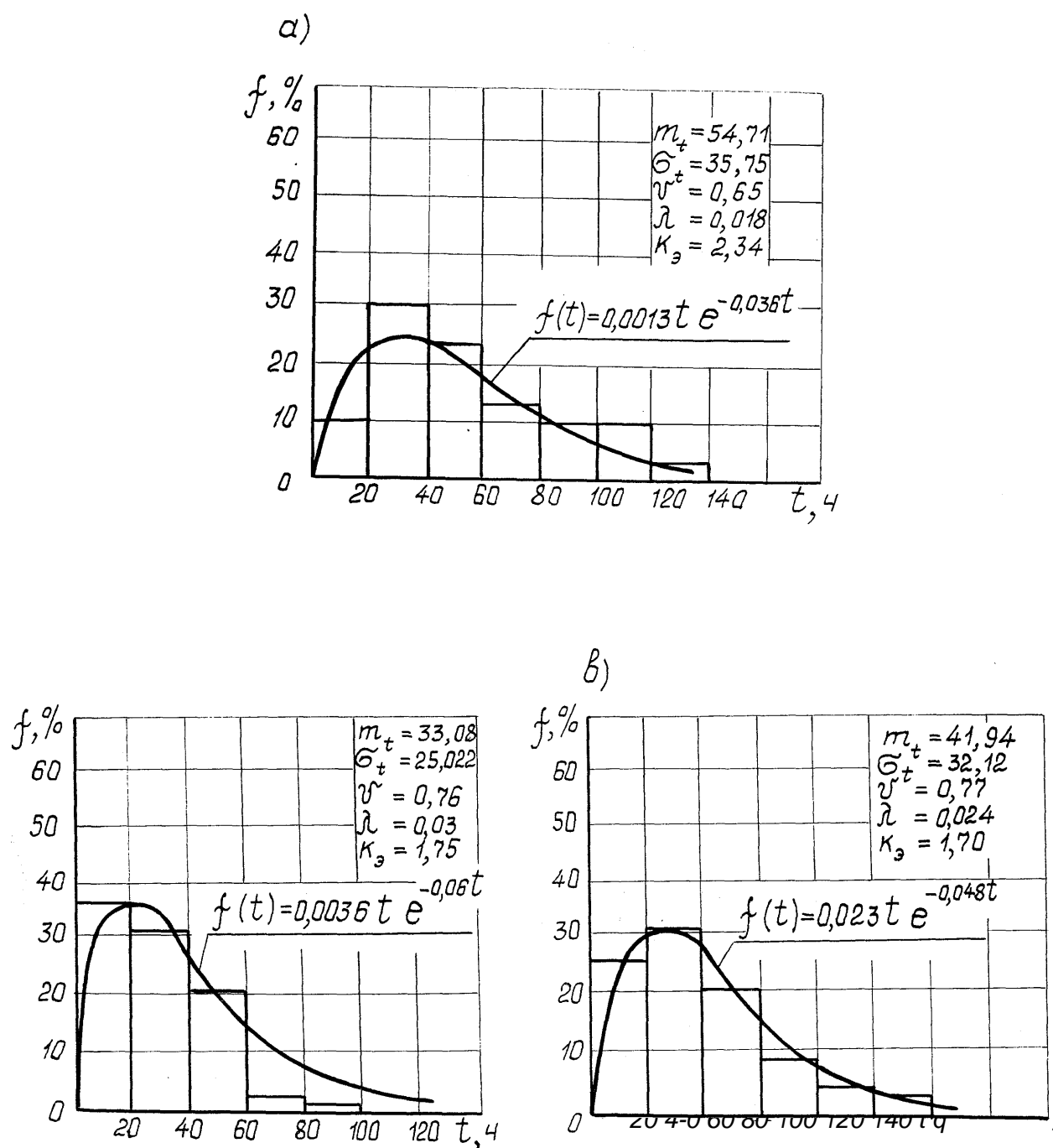
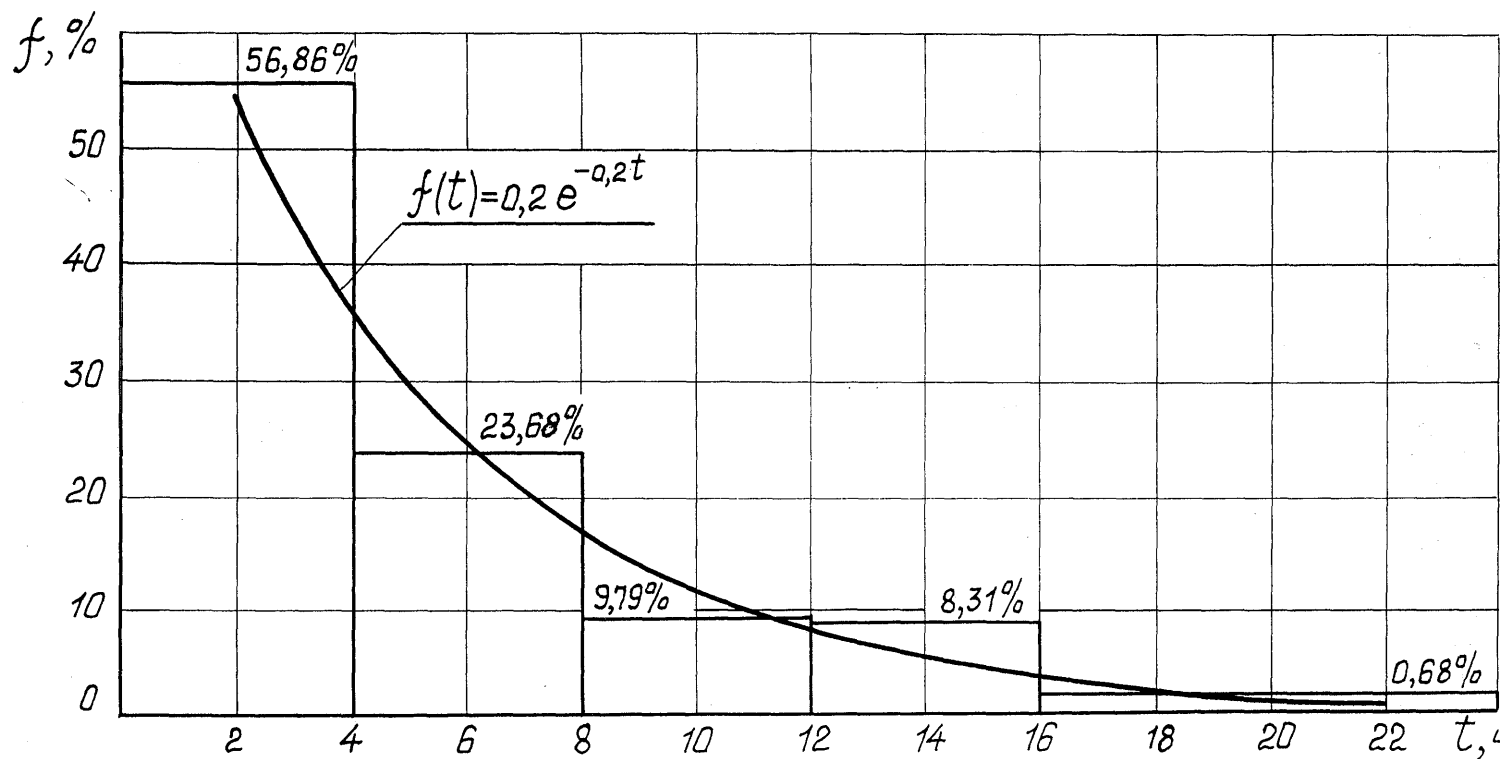


Рис. 2.

Распределение промежутков времени между поступлением  
теплоёзозо серии 2ТЭ116 на непланаовый ремонт (депо Г декабрь



$m_t = 5,12$  ;  $G = 6,73$  ;  $V = 1,31$  ;  $\lambda = 0,2$  .

Рис. 4.3

Таблица 4.2.

Законы распределений входящих потоков локомотивов		
Вид обслуживания или ремонта	Пределы изменения X, ч <sup>1</sup>	Вид плотности распределения
ТО-3	0,080 - 0,280	$f(t)=X*\exp(-X*t)$
ТР-1	0,018-0,040	$f(t)=(2X)^2*t*\exp(-21*t),$ •* $f(t)=X*\exp(-Z*t)$
НР	0,036 - 0,200	$f(t)=A*\exp(-X*t)$

Начиная с 1990 г., на железных дорогах Украины наблюдается устойчивая тенденция снижения грузопотока. Как показал анализ в течение 1994 г. и 1995 г. грузопоток уменьшился более чем вдвое. Это повлекло за собой уменьшение размеров эксплуатируемого парка локомотивов в депо, что в свою очередь повлияло на уменьшение количества выполненных ТО и ТР. Статистические исследования входящих потоков локомотивов за этот период, показали, что законы распределения этих потоков по-прежнему подчиняются экспоненциальному закону распределения  $P(1)=1*\exp(-1^s1)$ , однако значительно уменьшилась величина интенсивностей 1. Так, если величина интенсивности X суммарного входящего потока в депо Основа Южной ж. д. до 1990 г. изменялась в пределах  $Ze[0,280; 0,115]$ , то в течение 1994 - 1995 годов величина интенсивности составила  $X\epsilon [0,080; 0,115]$ . Иллюстрацией этого процесса являются диаграммы, приведенные на рис. 4.4, 4.5. Учитывая, что наиболее ярко тенденция падения грузопотока наблюдалась в период с 1991 по 1994 годы, на рис. 4.4, 4.5 представлены полученные автором сравнительные диаграммы количества выполненных ТО-3 и ТР-1 тепловозам серий 2ТЭ116, 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В, эксплуатирующихся в депо Основа Южной железной дороги. В результате анализа диаграммы распределения количества выполненных ТО-3 (рис. 4.4) получено, что программы ТО-3 уменьшились на 45 - 50 % в 1994 г. по сравнению с 1993 г. Анализ аналогичной диаграммы количества выполненных ТР-1 (рис. 4.5) показал, что уменьшение программ ТР-1 в течение 1994 г. составило порядка 40 % к программам

Диаграмма распределения количества ёы.полненных ТО-3  
по месяцам (депо Основа)

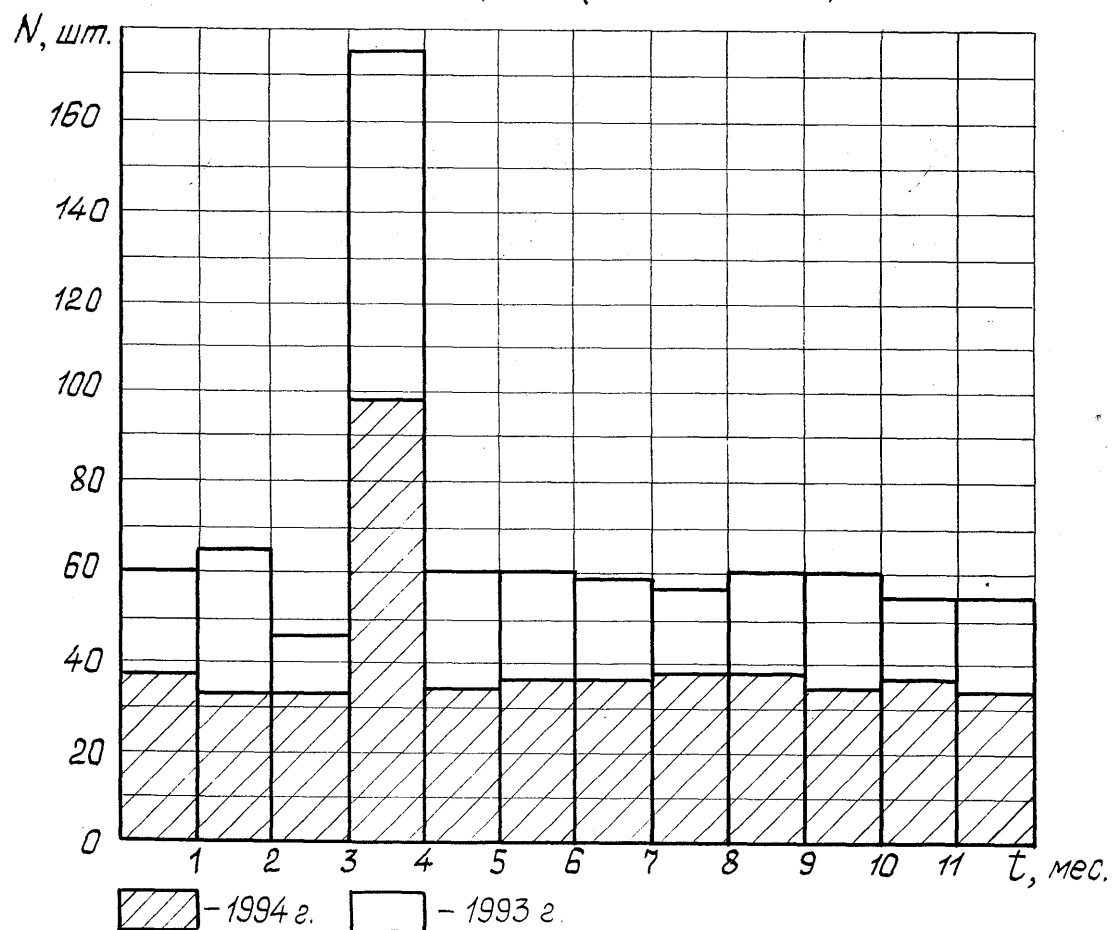


Рис. 4.4

Диаграмма распределения количества ёыполненных ТР-1  
по месяцам (депо Основа)

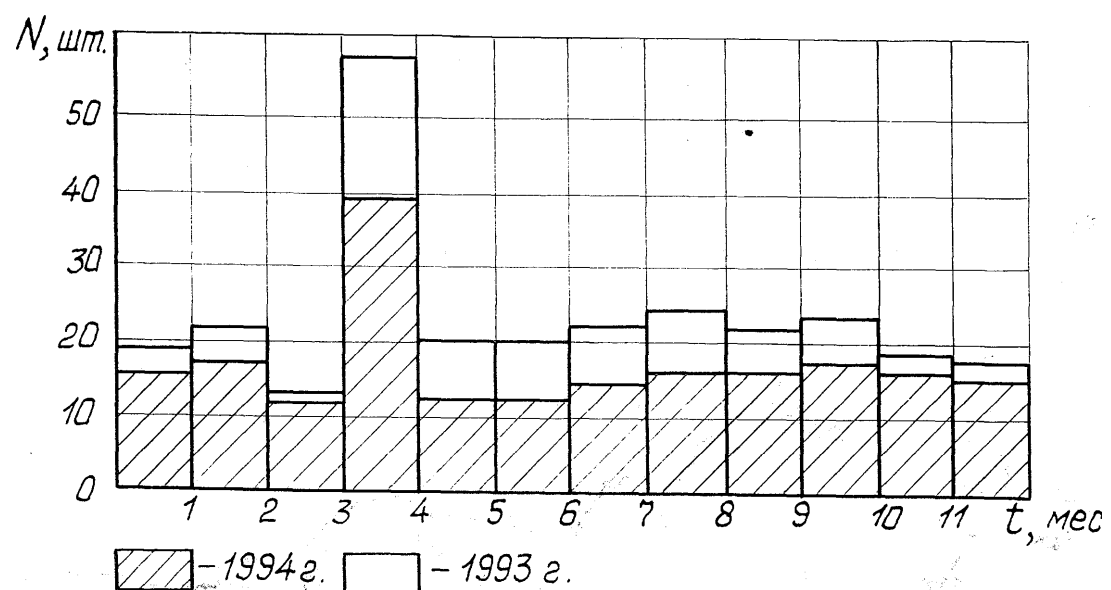


Рис. 4.5

ремонта ТР-1 произведенным в 1993 г. Аналогичная тенденция наблюдается во всех исследуемых депо.

Помимо исследования входящих потоков для определения множества входных данных моделей В были проведены статистические исследования обслуживающих потоков локомотивов на участках ТО-3, ТР-1 и НР. За этот же период наблюдений, т.е. начиная с 1981 г., в указанных выше локомотивных депо фиксировалось и время обслуживания или ремонта на стойлах. Полученная статистика также внесена в базу данных ПЭВМ и была обработана ежемесячно и поквартально.

Как показали проведенные исследования распределения времени обслуживания локомотивов на техническом обслуживании ТО-3 хорошо описываются распределением Эрланга 2-го, реже 3-го порядков соответственно с плотностями:

$$f(t)=(2/0^2*t*\exp(-2/(t)) \text{ и } f(t)=(3j4)^3*t^2*\exp(-3^t)/2.$$

Была произведена оценка параметров: математического ожидания  $\mu$ , среднего квадратического отклонения  $\sigma$ , коэффициента вариации  $V$ ; интенсивности потока обслуживаний  $\lambda$ , коэффициента Эрланга  $k$ . Соответствующие гистограммы и аппроксимирующие их зависимости частично проиллюстрированы на рис. 4.6.

С целью исследования обслуживающего потока локомотивов на текущем ремонте ТР-1 была собрана статистика о времени ремонта локомотивов на стойлах при выполнении ТР-1. После соответствующей обработки статистических данных был сделан вывод, что обслуживающий поток локомотивов на ТР-1 близок к потокам Эрланга 2-го и 3-го порядка соответственно с плотностями:

$$f(t)=(2J4)^2*t*\exp(-2Ji*t) \text{ и } f(t)=(3/())^3*t^2*\exp(-3JI*t)/2.$$

Гистограммы и аппроксимирующие их зависимости приведены на рис.4.7.

Кроме того, было проведено статистическое исследование обслуживающих потоков локомотивов на неплановом ремонте в условиях указанных выше шести локомотивных депо. В результате обработки статистических данных о времени пребывания локомотивов на неплановом ремонте, оценки параметров и проверки гипотез был сделан вывод о близости обслуживающего потока на НР  $f)$  основном

Распределение времени обслуживания тепловозов серии 2ТЭ116 на  
ТО-3 в депо Г за различные периоды наблюдений

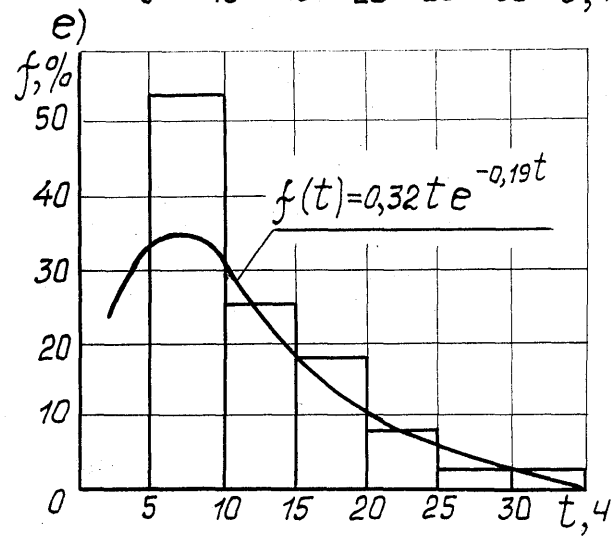
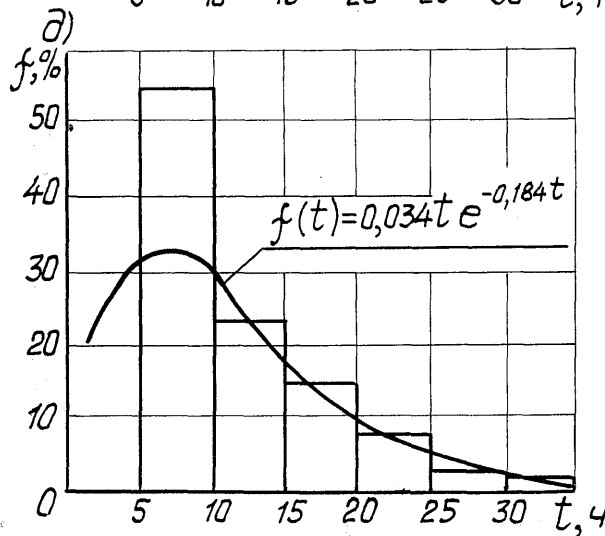
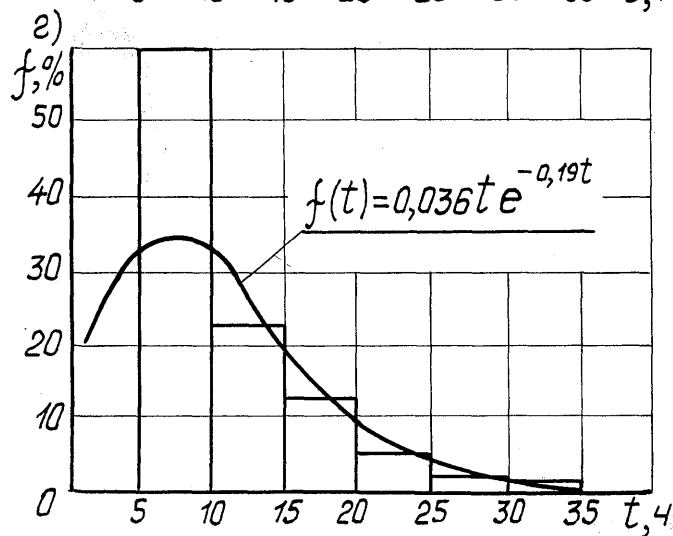
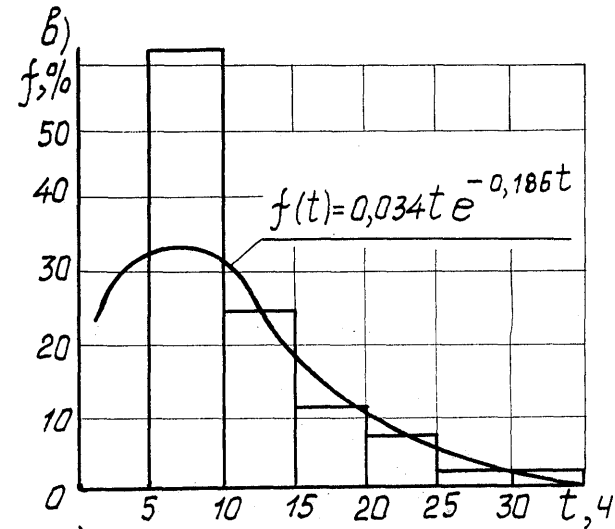
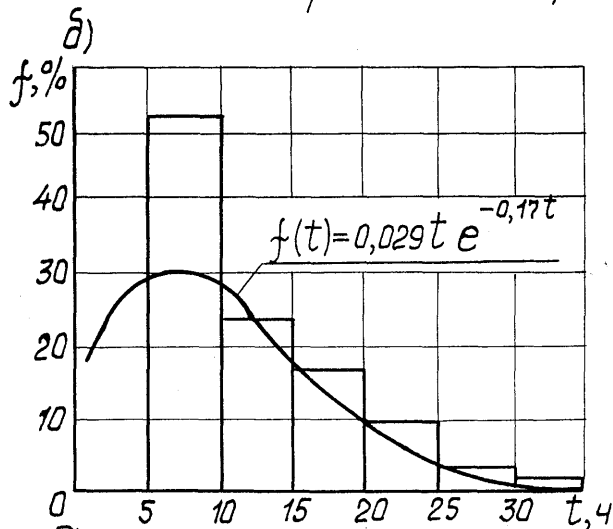
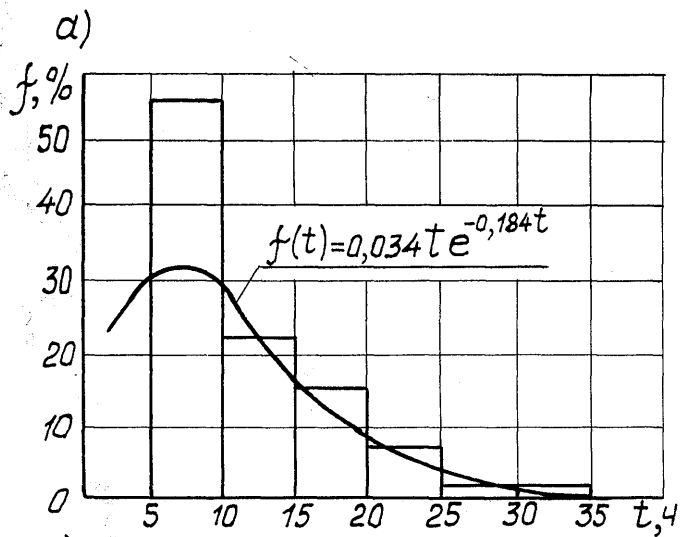


Рис.Ц.б

Распределение времени обслуживания теплоёзсё  
серии 2. ТЭ116 на ТР-1 о дело Г за различные период  
наблюдений

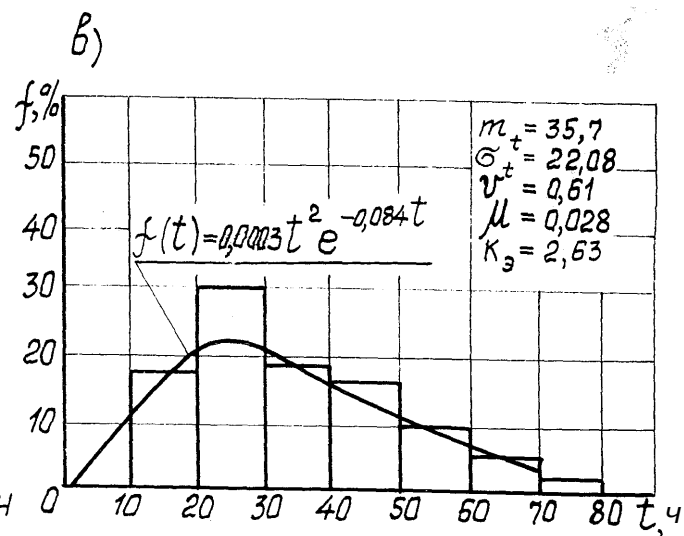
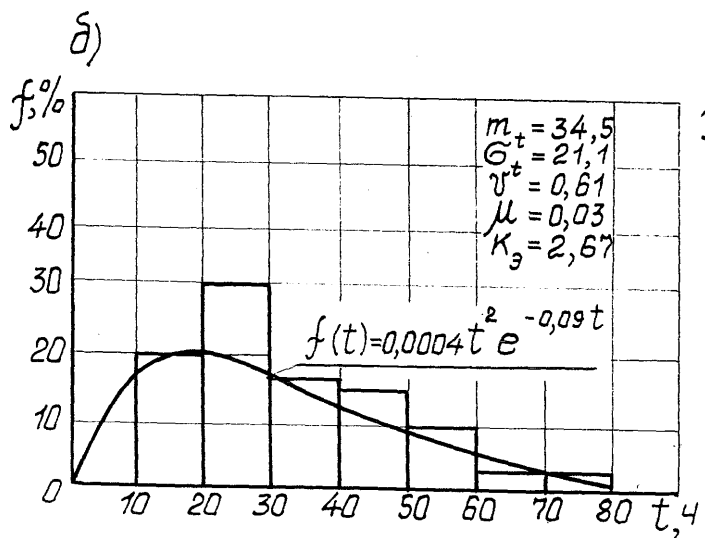
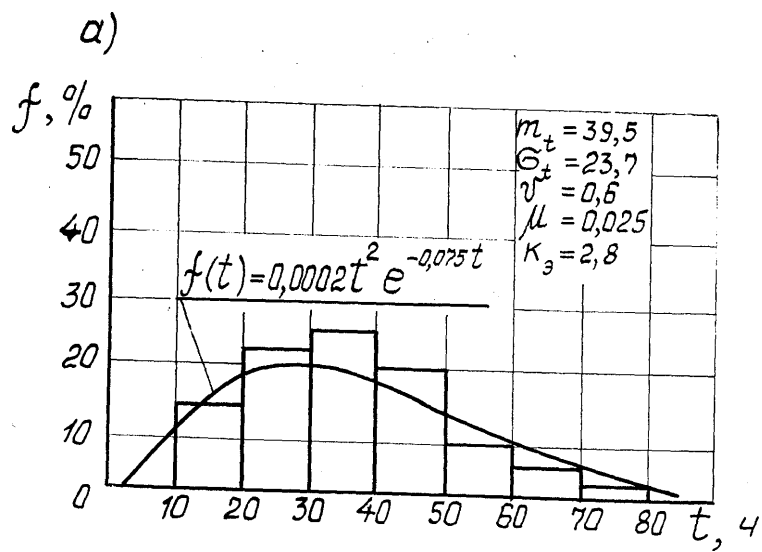


Рис. р.?

потоку Эрланга 2-го порядка с плотностью  $f(t)=(2p)^2 \cdot t \cdot \exp(-2p \cdot t)$ , реже простейшему потоку с плотностью  $f(t)=p \cdot \exp(-p \cdot t)$ . Статистические данные обрабатывались ежемесячно и поквартально. Результаты исследований частично проиллюстрированы на рис. 4.8. Помимо дифференцированного исследования обслуживающих потоков локомотивов на ТО-3, ТР-1 и НР были проведены исследования и анализ суммарного потока. При этом также подтвердилась гипотеза о близости эмпирического суммарного потока локомотивов потоку Эрланга 2-го, реже 3-го порядков. Пределы изменений параметров обслуживающих потоков локомотивов и плотности соответствующих распределений за период наблюдений с 1981 по 1990 г.г. включительно приведены в табл.4.3 и 4.4.

Таблица 4.3

Параметры обслуживающих потоков локомотивов

Вид обслуживания или ремонта	Пределы измерения параметров			
	$\frac{1}{\text{обсл}}$ , Ч	$\frac{1}{\text{обсл}}$ , ч	V	КЭ
ТО-3	9,70-20,74	6,31-14,25	0,59-0,74	1,84-3,01
ТР-1	21,82-39,50	14,64-23,70	0,57-0,67	2,22-3,06
НР	9,70-31,90	7,60-32,40	0,66-1,02	0,98-2,43

Таблица 4.4.

Законы распределений обслуживающих потоков локомотивов

Вид обслуживания или ремонта	Пределы изменения Ц, ч <sup>1</sup>	Вид плотности распределения
ТО-3	0,05 - 0,10	$f(t)=(2i)^2 \cdot t \cdot \exp(-2i \cdot t)$
ТР-1	0,25 - 0,66	$f(t)=3 \cdot i^3 \cdot \exp(-3 \cdot i \cdot t) / 2$
НР	0,04 - 0,10	$f(t)=p \cdot \exp(-p \cdot t)$ $f(t)=(2i)^2 \cdot t \cdot \exp(-2p \cdot t)$

Распределение времени обслуживания теплособов на  
неплановом

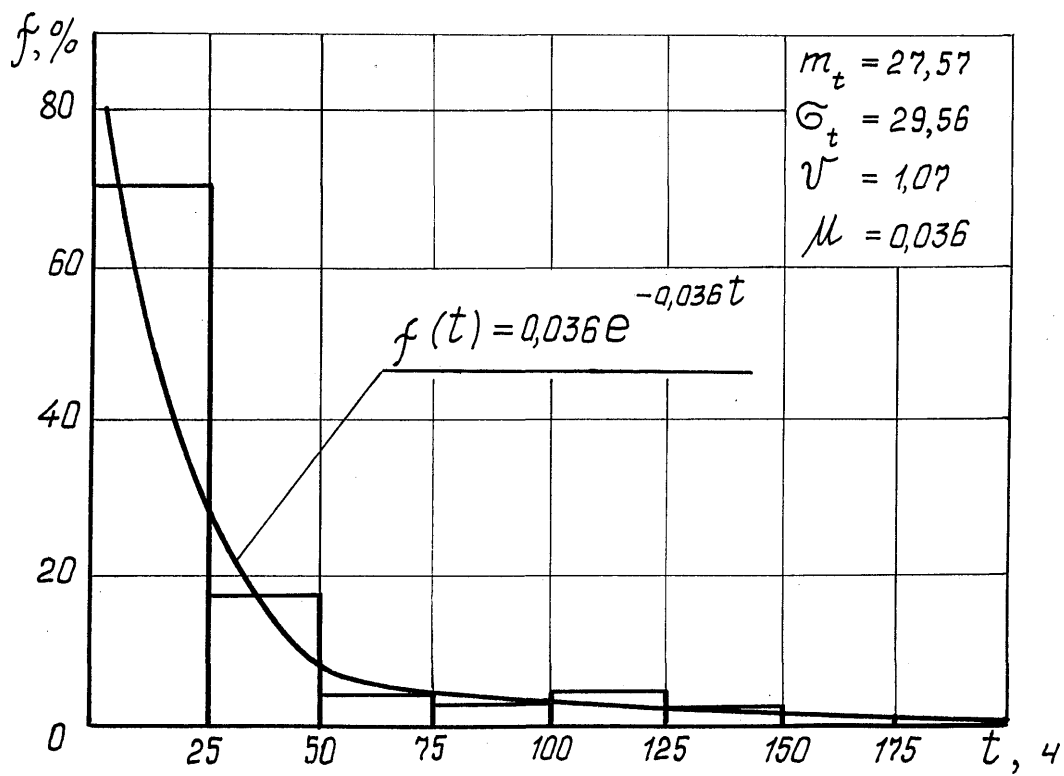


Рис. ^8

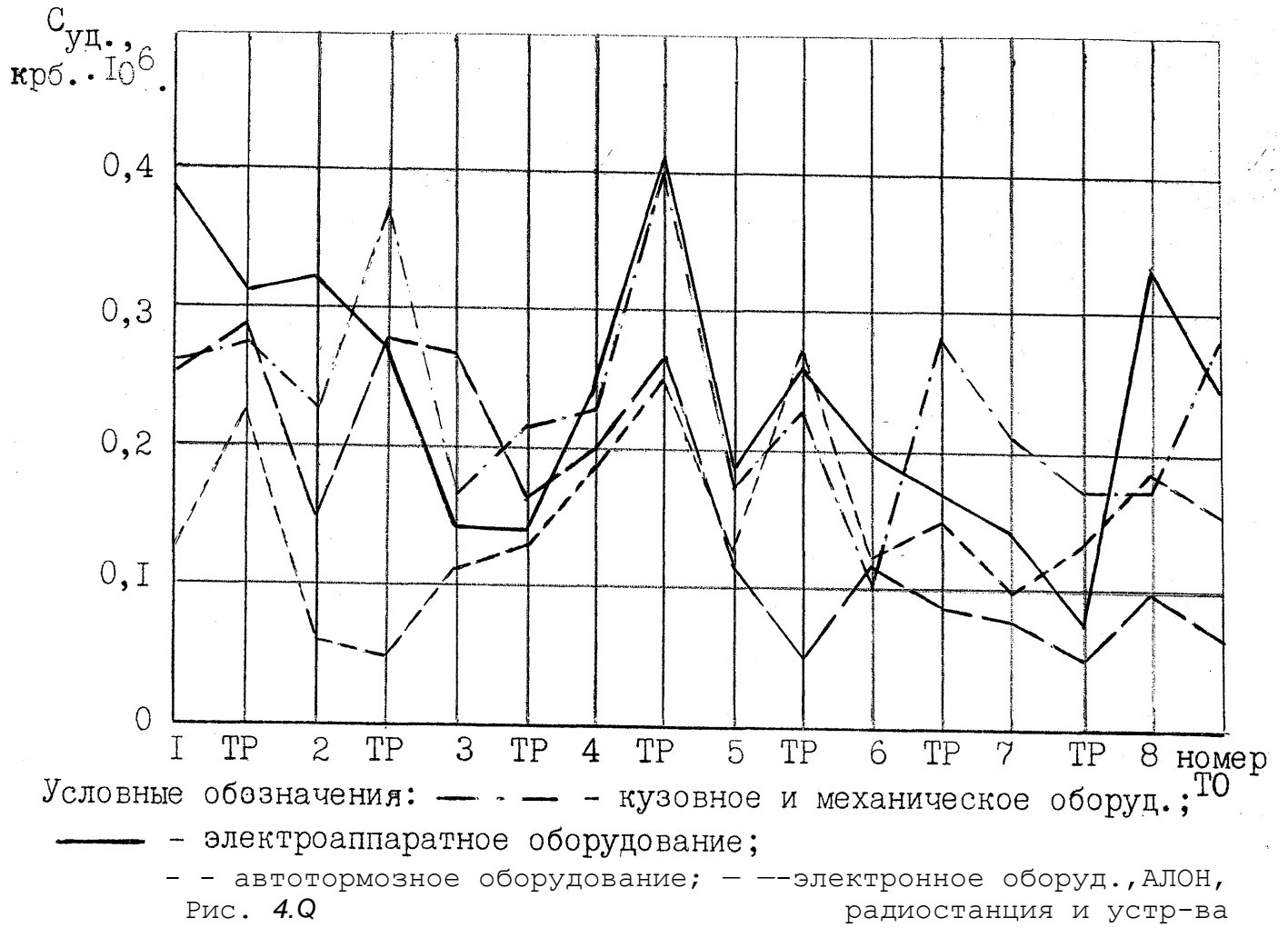
Статистические исследования обслуживающих потоков локомотивов в депо при выполнении ТО-3, ТР-1 и НР проведенные автором в период с 1991 по 1995 г.г. подтвердили выводы, сделанные в более ранний период, о том, что суммарный обслуживающий поток остается наиболее близким к потокам Эрланга 2-го и 3-го порядков, но со значительно уменьшенными величинами интенсивностей. Значения интенсивности  $\lambda$  суммарного обслуживающего потока локомотивов принадлежат области  $\lambda \in [0,01; 0,03]$  в то время как до 1990 года  $\lambda \in [0,025; 0,100]$ . Причиной столь значительного уменьшения интенсивности  $\lambda$  (т.е. увеличения времени простоя локомотивов при проведении ТО-3, ТР-1 и НР) являются следующие факторы:

- старение локомотивного парка, который в последние годы практически не обновлялся;
- наличие большого объема сверхцикловых работ на ТО-3 и ТР-Г. так если до 1990 г. объемы сверхцикловых работ составляли порядка 5% от общего объема работ, предусмотренных регламентом ТО-3 и ТР-1, то в настоящее время эти объемы составляют более 10 % (рис.4.9, 4.10);
- изменение графика работ ремонтных бригад, так от круглосуточного режима работы ремонтных участков локомотивные депо перешли к работе участков с перерывом в ночное время, что увеличило простой локомотивов на стойле;
- хроническое отсутствие запасных частей, узлов и агрегатов локомотивов;
- старение ремонтного оборудования и, как следствие, его отказы.

Наиболее ярко тенденция уменьшения интенсивности обслуживающего потока наблюдалась в период с 1992 по 1994 г.г., о чем свидетельствуют диаграммы приведенные на рис. 4.11, 4.12. Исходные данные при построении диаграмм собраны автором в депо Основа Южной ж.д. В результате сравнительного анализа диаграммы распределения времени простоя на ТО-3 тепловозов серий 2ТЭ116, 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В, эксплуатирующихся в депо Основа (рис. 4.11), получено, что среднее время простоя на ремонтном стойле на 11,6 ч. больше в 1994 г. чем в 1993г..

Аналогичный анализ диаграммы, приведенной на рис. 4.12, показал, что среднее время простоя тепловозов на ремонтном стойле при проведении ТР-1 увеличилось с 54,3 ч. в 1993 г. до 60,5 ч. в 1994 г., т.е. увеличение составило - 6,2 ч.

Зависимость удельной стоимости дополнительных работ по видам оборудования от номера ТО



Зависимость удельной трудоемкости дополнительных работ от номера ТО в ремонтном цикле

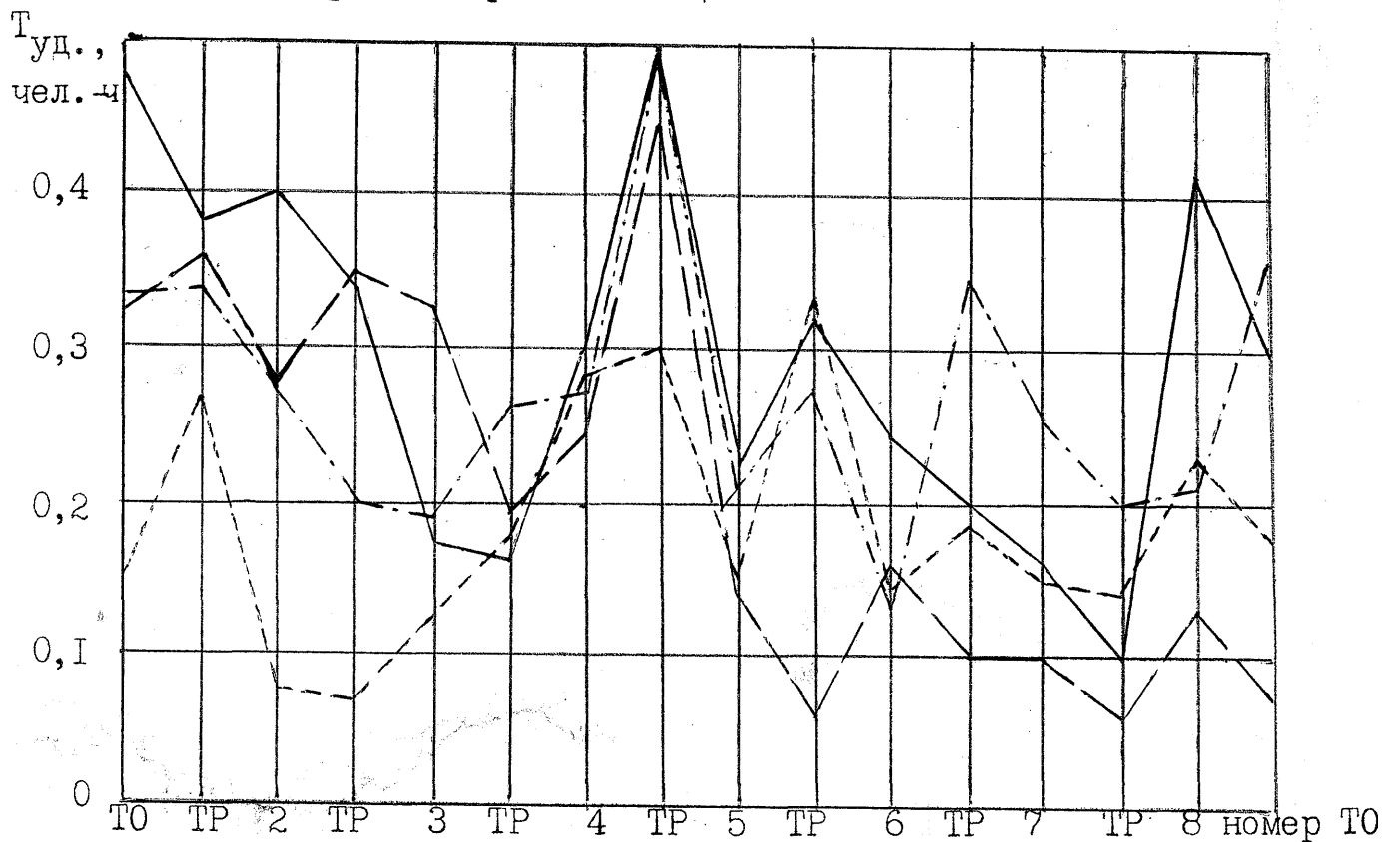


Рис. 4.10

Диаграмма распределения времени простоя на Т0~3 теплоозод по месяцам

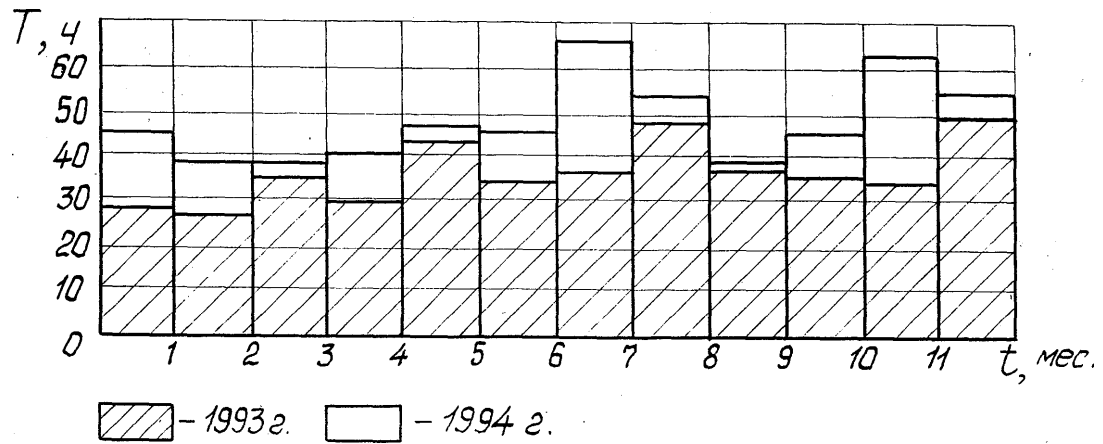


Рис. Ч. Р

Диаграмма распределения времени простоя на ТР-1 теплоозоёе па месяцам

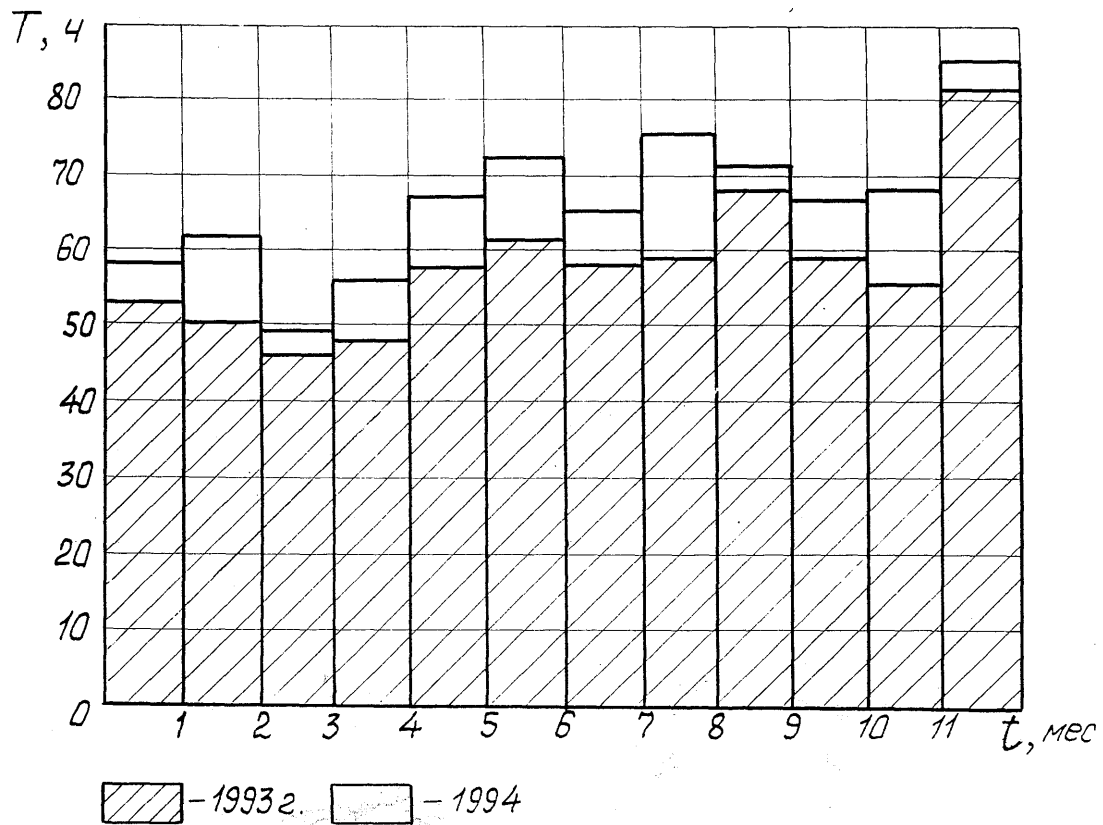


Рис. ЧР2

Таким образом, многолетние исследования входящих и обслуживающих потоков локомотивов в депо на ТО-3, ТР-1 и НР позволили определить множество входных данных  $V$  модели массового обслуживания (табл.4.1 - 4.4 и данные по тексту), задающие ее динамику, т.е. часть компонентов модели.

С целью дальнейшей идентификации стохастической модели массового обслуживания ремонтных участков в депо на следующем этапе был определен вид преобразования  $\theta$  входных данных  $V$  в выходные  $V$ , т.е.  $\theta: V \rightarrow V$ . Возникающие при этом проблемы определения структурной информации носят явно неформальный характер. Для конструирования общих моделей ремонтных участков и в то же время достаточно адекватных исследуемому процессу, необходимо провести детальный анализ существующих способов и форм организации процесса проведения ТО и ТР локомотивов в депо.

Для выявления наиболее характерных вариантов организации работ для выполнения ТО-3, ТР-1 и НР были проанализированы результаты исследований, проведенных ВНИИЖТом [6, 9, 143, 144], проведены самостоятельные наблюдения в шести локомотивных депо Украины, где изучалось функционирование исследуемых участков, а также обобщены данные УКРЗАЛІЗНИЦІ.

В результате основным видом модели исследуемых ремонтных участков была принята стохастическая модель массового обслуживания без прерывания обслуживания, с ограниченным числом мест для ожидания -  $\Pi$  - каналами (стойлами) обслуживания. Дисциплина очереди такова, что локомотивы обслуживаются в порядке поступления, т.е. модель без приоритетов. Если ремонтные работы в ночное время не выполняются, т.е. локомотив стоит неотремонтированным на стойле в ночные часы, то это время включено в общее время простоя. Таким образом, принимаем, что обслуживание не прерывается и в этом случае. Для обозначения моделей обслуживания была использована модифицированная символика Кендалла [136, 145 - 147]. Согласно этой символической модели ремонтных участков локомотивов в депо относятся к моделям типа:  $M/E_n/p/t$  и  $M/E_n/n/m$ , где, согласно Кендаллу,  $M$  - показательное распределение промежутков

времени между последовательными проходами локомотивов через контрольный пост депо для проведения ТО-3, ТР-1, НР; Е2 и Е3 - распределения времени обслуживания по закону Эрланга соответственно 2-го или 3-го порядка;  $p$  - число обслуживаемых каналов (стойл);  $m$  - число место в очереди. Число мест в очереди  $t$ , соответствующее ограничению по количеству путей, предназначенных для ожидания локомотивов перед цехом, выбиралось согласно наблюдениям [102, 143, 144] по максимальному числу заходов локомотивов за вычетом числа обслуживающих каналов, т.е. за вычетом количества локомотивов, которое может одновременно находиться на стойлах на исследуемом участке. Необходимо отметить, что число мест в очереди  $t$  существенно не влияет на общность модели.

Тем не менее было принято во внимание, что до 1991 г. локомотивные депо функционировали в более напряженном режиме. Число мест в очереди оценено на основании статистических данных, собранных в депо с большим приписным парком (Гребенка, Основа Южной ж.д.) в период до 1991 г. [102]. Это безусловно усложняет техническое конструирование моделей массового обслуживания, но увеличивает точность расчетов на границах множества входных данных. В настоящее время статистические наблюдения о возможной длине очереди локомотивов показывают, что она практически отсутствует, или в 2 - 3 раза меньше, чем до 1991 г.

В результате обследований депо число обслуживающих каналов (стойл)  $p$  принято равным  $p = 1, 2, 3, 4$ . Обоснованием такого решения являются следующие соображения. Если в депо выделены специализированные ремонтные позиции для выполнения ТР-1 и НР, то их количество даже в депо с большим приписным парком (Основа, Гребенка Южной ж.д., Красный Лиман Донецкой ж.д.) равно 1 или 2. Количество специализированных ремонтных позиций для производства ТО-3 в основном равно 3 или 4. С учетом уменьшенного грузопотока в настоящее время и совмещения ТО-3, ТР-1 и НР на одних и тех же стойлах в депо, как правило, функционируют 3 или 4 стойла. Т.е. принятое количество обслуживающих каналов модели  $p = 1, 2, 3, 4$  практически охватывает все многообразие способов проведения ТО-3, ТР-1 и НР в локомотивных депо. Хотя принципиально на структуру моделей

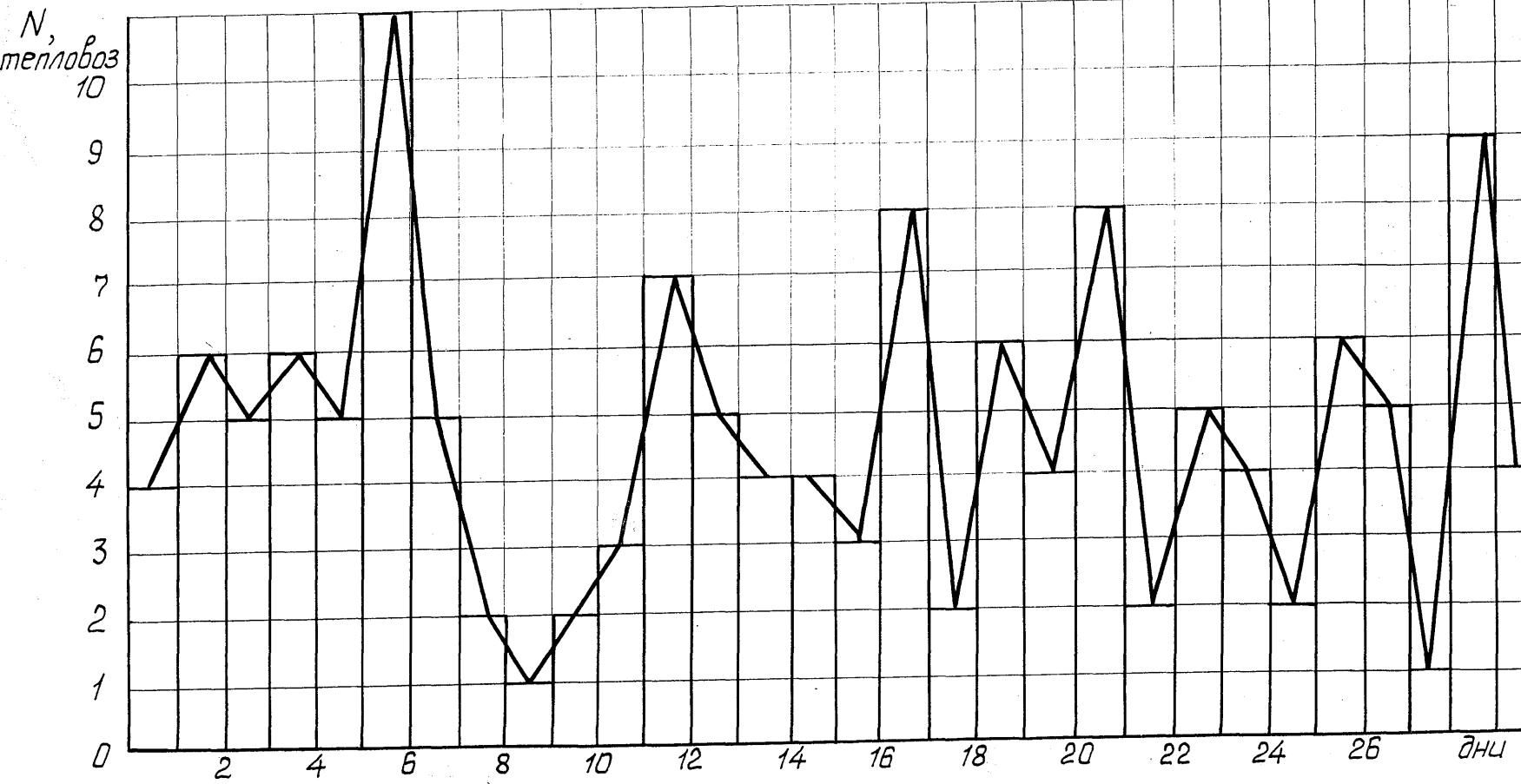
это не оказывает существенного влияния. Для каждого числа каналов  $n$  определено по результатам статистических наблюдений число мест для ожидания  $m$  с учетом указанных выше соображений по выбору  $n$  [102].

Так для проведения НР обычно предусмотрено одно стойло, т.е. моделирующей системой массового обслуживания (СМО) для участков неплановых ремонтов является одноканальная СМО. Количественная оценка очереди произведена на примере депо Гребенка Южной ж.д. на основе полученной диаграммы числа тепловозов поступивших на неплановый ремонт по суткам (рис. 4.13). Согласно этим данным максимальное число тепловозов, поступивших в течение одного дня на НР, для различных месяцев наблюдений менялось от 7 до 11. Учитывая то, что время обслуживания тепловозов на участке НР в условиях депо Гребенка в среднем составило 10 часов [102], а также то обстоятельство, что по некоторым тепловозам требуется небольшой объем ремонта, который можно выполнить на путях отстоя, не заходя на стойло, целесообразно ограничить очередь шестью тепловозами. Это количество является вполне удовлетворительным и по числу мест, которым располагает депо для отстоя неисправных тепловозов. Таким образом, наиболее адекватной является СМО  $M/E2/I/6$ .

Для проведения ТО-3 по результатам наблюдений возможны несколько вариантов организации работ - на 2-х, 3-х и 4-х стойлах одновременно. Для оценки возможного количества мест в очереди были использованы диаграммы числа заходов локомотивов на ТО-3 за различные периоды наблюдений (рис. 4.14). Учитывая это, а также полученные результаты исследований входящих и обслуживающих потоков на ТО-3, проведенные ранее, для моделирования работы участков ТО-3 рекомендованы следующие СМО:  $M/E3/2/4$ ;  $M/E2/3/5$ ;  $M/E2M/3$ . Производство текущего ремонта ТР-1 в депо чаще всего организовано на одном или двух стойлах, т.е. при моделировании работы участка ТР-1 целесообразно использовать одну из выше указанных СМО  $M/E2/I/6$  или  $M/E3/2/4$  с учетом структуры входящих и обслуживающих потоков локомотивов.

Таким образом, стохастические системы массового обслуживания  $M/E2/I/6$ ;  $M/E3/2/4$ ;  $M/E2/3/5$ ;  $M/E2/4/3$  и аналогичные им практически исчерпывают

77 // дрппмип числа поступлении тепло&озоё на неплановый  
ремонт за декабрь 1990 г. £ условия. дело Греденка



$m_t = 4,58$  ;  $\sigma = 4,69$  ;  $V = 1,024$

Рис. 4.13

Диаграмма числа заходов глепледозо^ на ТО-3 д течение месяца  
(депо Гребенка)

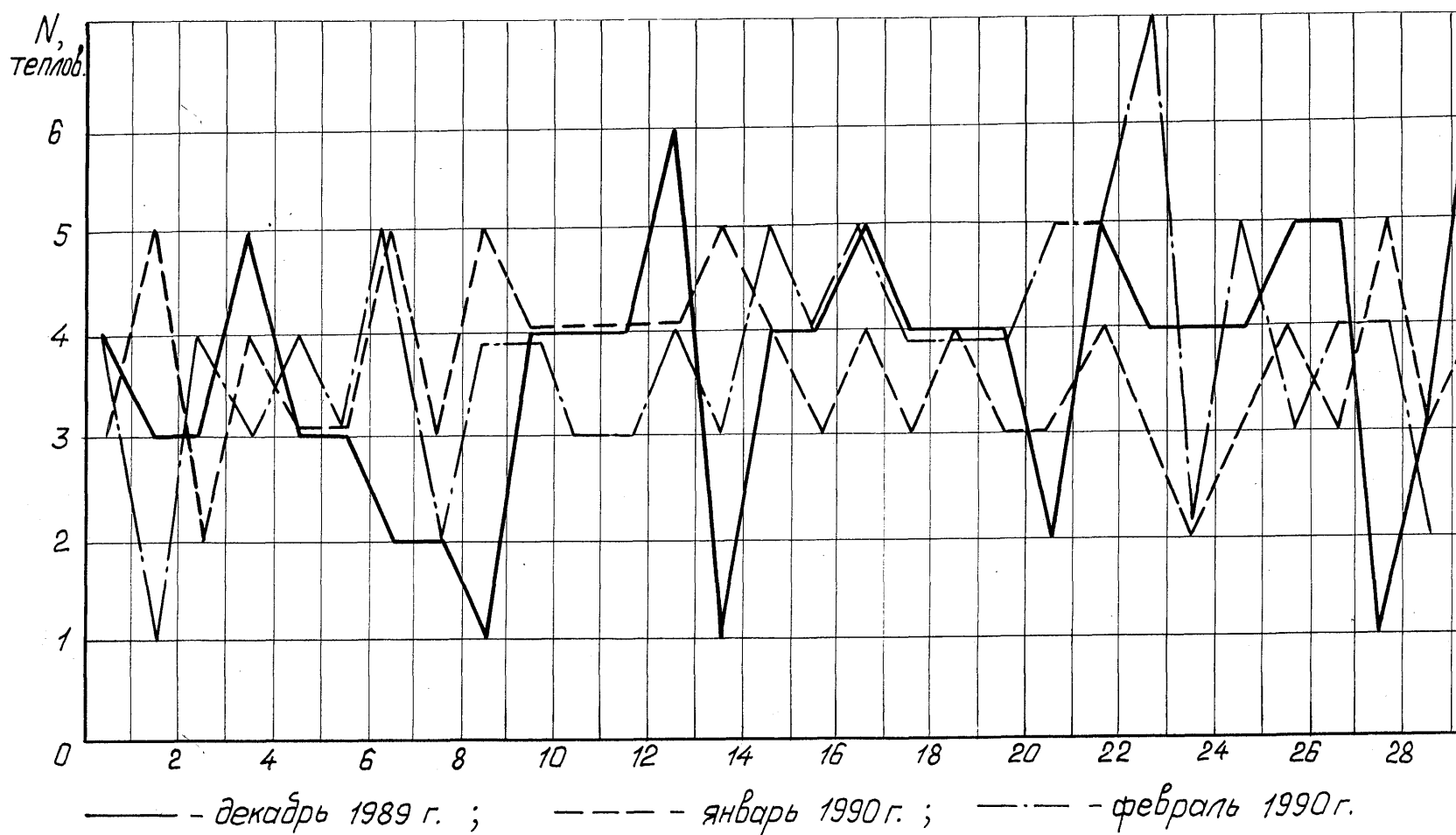


Рис.1.1

возможные варианты организации выполнения работ на участках ТО-3, ТР-1 и НР в депо, включая и совмещение этих работ на одних и тех же ремонтных позициях.

Учитывая, что динамику модели задают экспоненциальные и гиперэрланговские распределения, процессы протекающие в исследуемых системах являются немарковскими. Однако гиперэрланговские распределения дают возможность использовать при расчете стационарных режимов аппарат линейной алгебры, благодаря тому, что модель упрощается и сводится к конечной цепи Маркова. Как известно, это основано на том свойстве гиперэрланговских потоков, что эрланговский поток  $k$ -го порядка -  $E_k$  с интенсивностью  $\lambda$  представим в виде суммы  $k$  простейших потоков с интенсивностью каждого в  $k$  раз большей интенсивности потока  $E_k$ , т.е. случайная величина  $T$  времени обслуживания локомотивов, распределенная по закону Эрланга  $k$ -го порядка представляет собой

сумму  $k$  случайных величин  $T = \sum_{i=1}^k T_i$ , распределенных по показательному закону с

параметром  $k\lambda$  :

$$f_k(t) = \frac{(k\lambda)^k}{(k-1)!} t^{k-1} \exp(-k\lambda t) \quad (t > 0).$$

Учитывая это, использован метод псевдосостояний, позволяющий свести немарковский процесс к конечной цепи Маркова и описать его с помощью обыкновенных дифференциальных уравнений, которые при  $t \rightarrow \infty$  переходят в алгебраические уравнения для предельных вероятностей состояний [77, 129].

Таким образом, представленные модели относятся к классу многофазно-многолинейных моделей [148 -150].

Для каждой из моделей разработаны размеченные графы состояний с учетом структурных характеристик: числа каналов -  $p$ , числа мест в очереди -  $q$ , количеством фаз, соответствующих порядку потоков Эрланга. При этом приняты следующие обозначения: состояния системы -  $S_{i,j,k}$  или  $S_{i,j,k,l}$ ; соответствующие им вероятности -  $P_{i,j,k}$  или  $P_{i,j,k,l}$ . Где ?

$i$  - количество локомотивов в системе (на обслуживании и в очереди);

$j$  - количество локомотивов, находящихся в первой фазе обслуживания;

**к** - количество локомотивов, находящихся во второй фазе обслуживания;

**1** - количество локомотивов, находящихся в третьей фазе обслуживания.

Для СМО М/Е2/1/6 - индекс **i** изменяется от 0 до 7; индексы **j** и **к** принимают значения 0 или 1.

Для СМО М/Ез/2/4- индекс **i** изменяется от 0 до 6; индексы **j**, **к** и **1** принимают значения 0, 1, 2.

Для СМО М/Е2/3/5 - индекс **i** изменяется от 0 до 8; индексы **j** и **к** принимают значения 0, 1, 2, 3.

Для СМО М/Е2/4/3 - индекс **i** изменяется от 0 до 7; индексы **j** и **к** принимают значения 0, 1, 2, 3, 4.

В соответствии с такими обозначениями размеченные графы состояний указанных выше систем массового обслуживания приведены на рис. 4.15-4.18. Над стрелками проставлены соответствующие интенсивности переходов.

Для определения вероятностей состояний как функций времени получены дифференциальные уравнения Колмогорова, относительно этих вероятностей на основании разработанных граф-моделей. Учитывая, что все интенсивности потоков событий, переводящие систему из состояния в состояние постоянны ( $X = \text{const}$  и  $\lambda = \text{const}$ ), число состояний конечно и из каждого состояния можно перейти в другое (за то или иное количество шагов), то существуют предельные вероятности, которые не зависят от начального состояния системы. Так как предельные вероятности не зависят от времени, то дифференциалы в правой части уравнений обращаются в нули.

Т.е. из системы дифференциальных уравнений получены системы линейных алгебраических уравнений. Эти системы решаются совместно с условием нормировки:

$$\sum_{i,j,k} P_{i,j,k} = 1 \text{ или } \sum_{i,j,k} P_{i,j,k} = 1$$

Система дифференциальных уравнений совместно с нормировочным условием для СМО М/Е2/1/6 имеет вид :

Граер - модель СМО MjE<sub>s</sub> fl/6

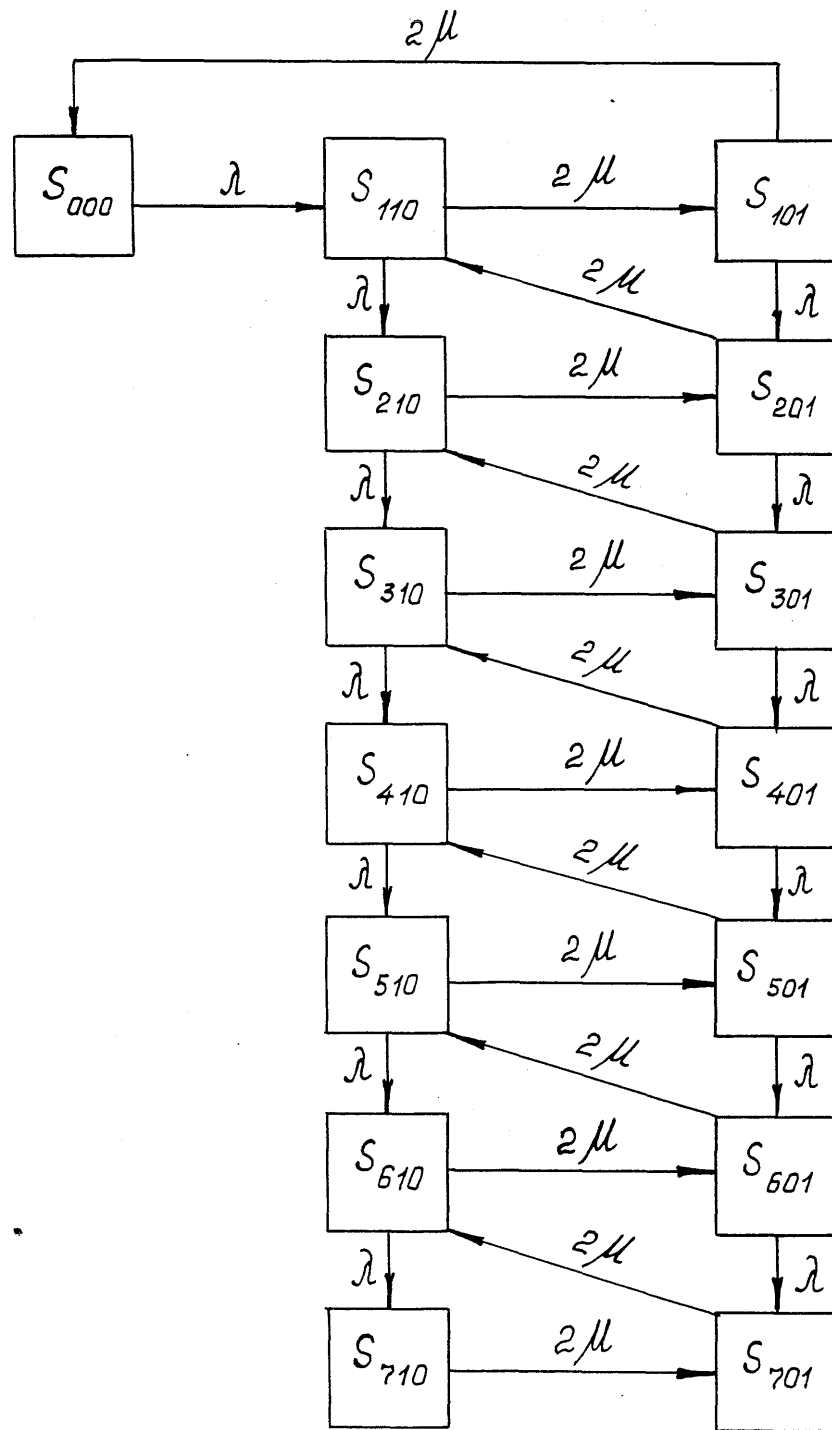


Рис.

Граф-модель СМО  $M/E_3/2/4$   
 $3\mu$

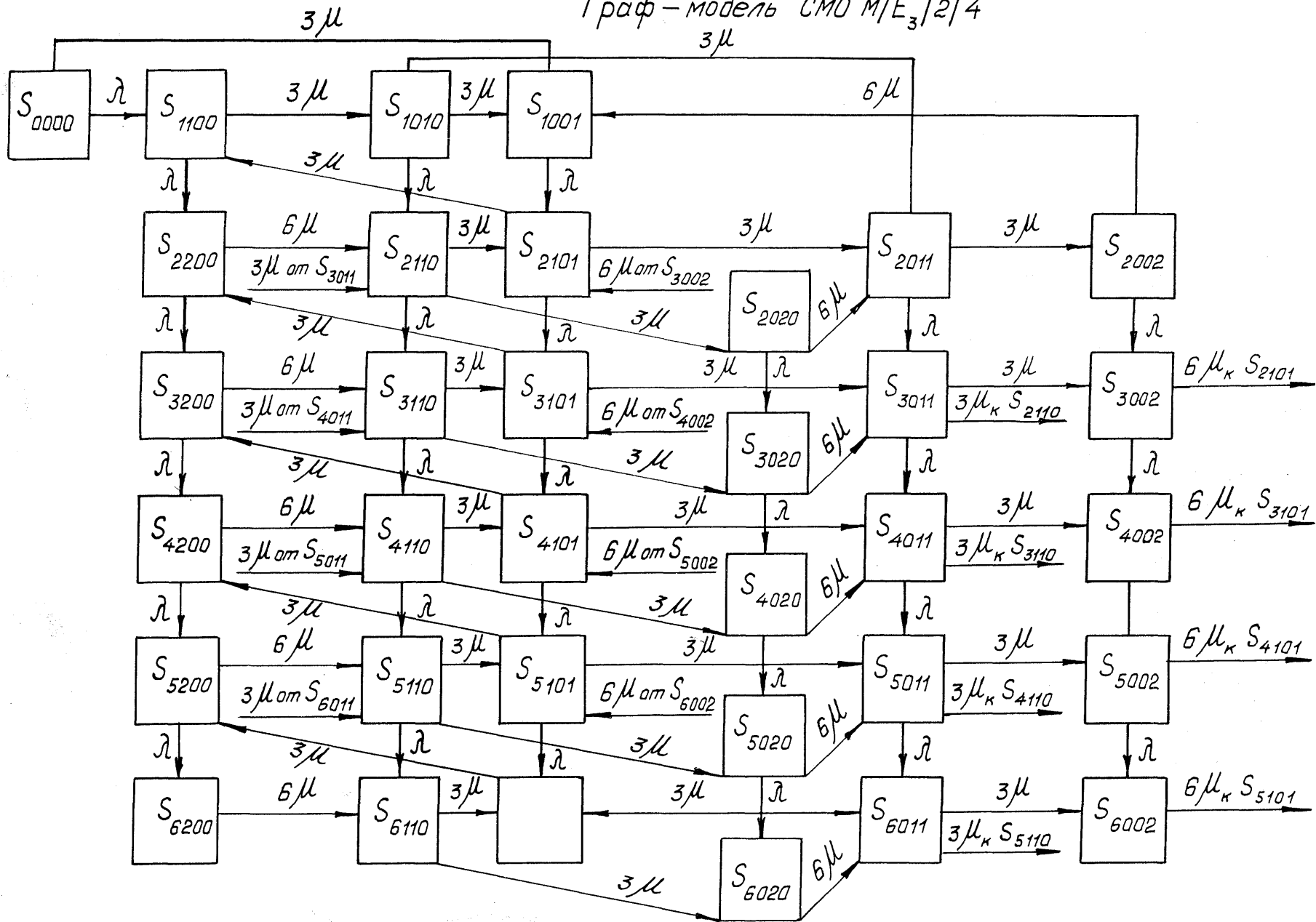


Рис. 4.16

Граф-модель СМО M/E<sub>2</sub>|3/5

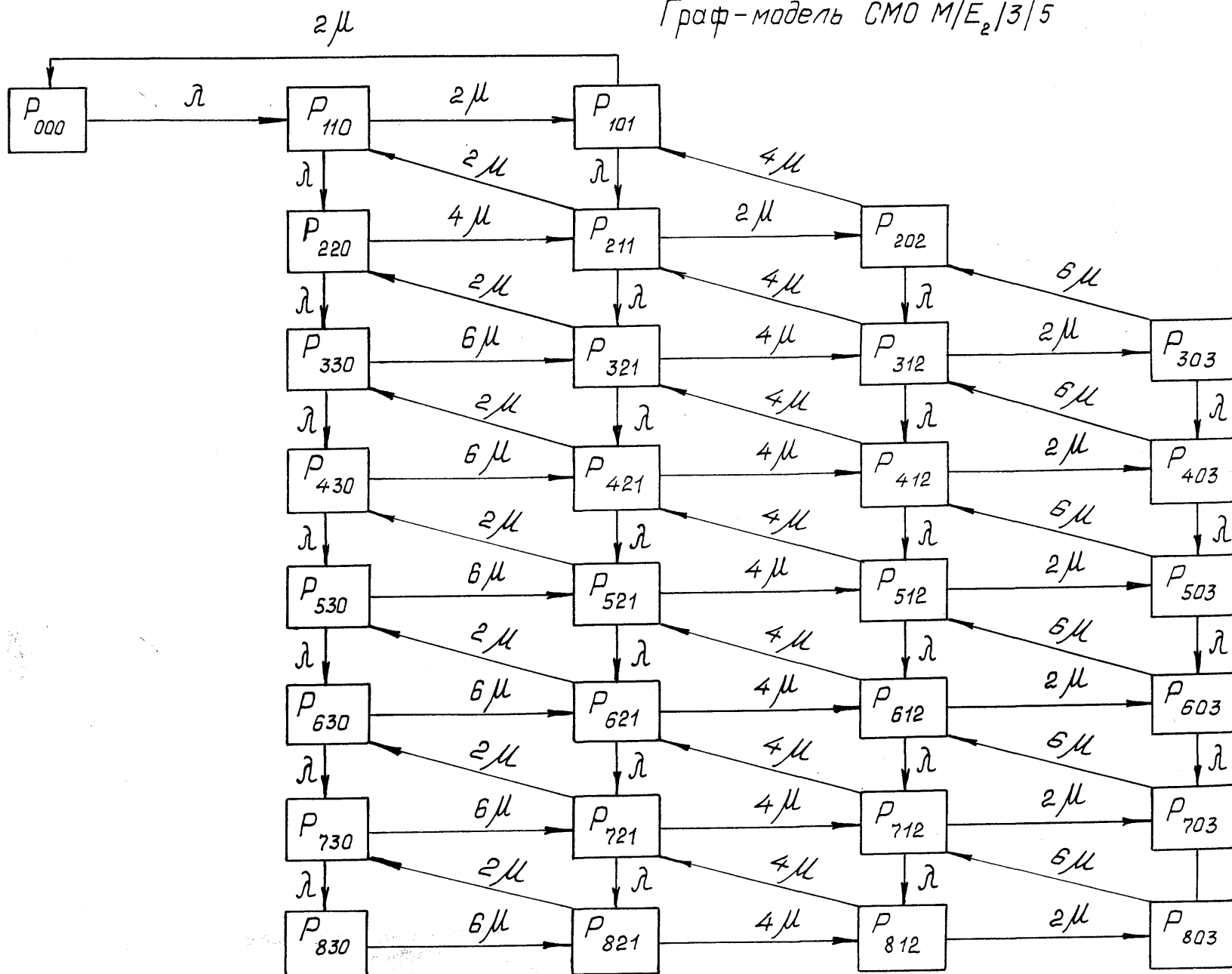
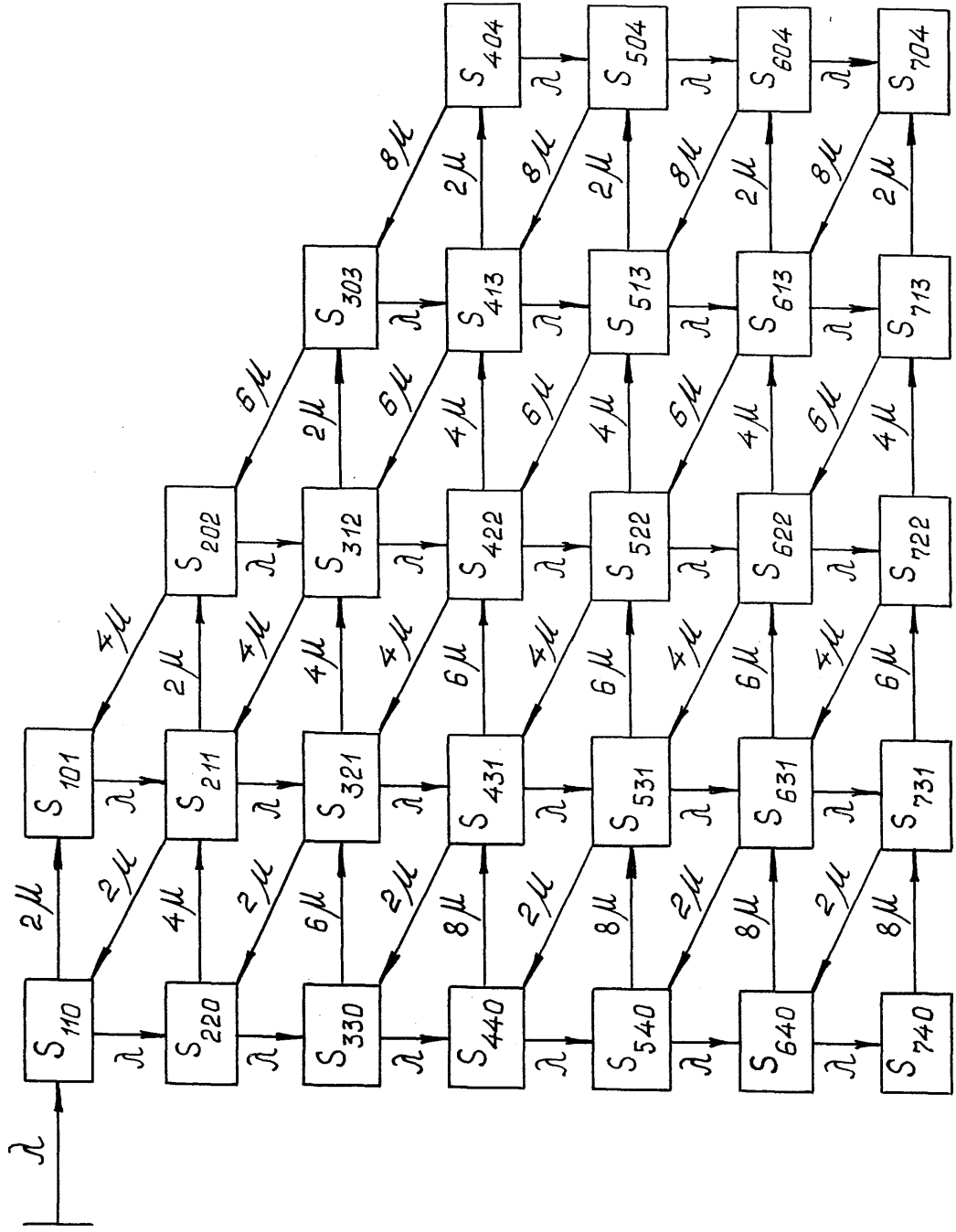


Рис. 4-1?



$$\frac{dP_{000}}{dt} = -(X + 2\Pi)P_{101} + 2\Pi P_{101}$$

$$\frac{dP_{101}}{dt} = -(X + 2\Pi)P_{110} + XP_{000} + 2pP_{201}$$

$$\frac{dP_{110}}{dt} = -(X + 2\Pi)P_{101} + 2pP_{110}$$

$$\frac{dP_{210}}{dt} = -(X + 2\Pi)P_{210} + XP_{110} + 2\Pi P_{301}$$

$$\frac{dP_{201}}{dt} = -(X + 2\Pi)P_{201} + XP_{101} + 2\Pi P_{210}$$

$$\frac{dP_{310}}{dt} = -(X + 2\Pi)P_{310} + XP_{210} + 2\Pi P_{401}$$

$$\frac{dP_{301}}{dt} = -(X + 2\Pi)P_{301} + XP_{201} + 2\Pi P_{310}$$

$$\frac{dP_{410}}{dt} = -(X + 2\Pi)P_{410} + XP_{310} + 2\Pi P_{501}$$

$$\frac{dP_{401}}{dt} = -(X + 2\Pi)P_{401} + XP_{301} + 2\Pi P_{410}$$

$$\frac{dP_{510}}{dt} = -(X + 2\Pi)P_{510} + XP_{410} + 2\Pi P_{601}$$

$$\frac{dP_{501}}{dt} = -(X + 2\Pi)P_{501} + XP_{401} + 2\Pi P_{510}$$

$$\frac{dP_{610}}{dt} = -(X + 2\Pi)P_{610} + XP_{510} + 2\Pi P_{701}$$

$$\frac{dP_{601}}{dt} = -(X + 2\Pi)P_{601} + XP_{501} + 2\Pi P_{610}$$

$$J^{01} = 2\Pi P_{701} + XP_{601} + 2\Pi P_{710}$$

$$\frac{dP_{710}}{dt} = -2\Pi P_{710} + XP_{610}$$

7 1 1

i=0j=0k=0

Соответствующая система линейных уравнений Колмогорова для СМО М7Е2/1/6 приведена ниже :

$$\begin{aligned}
 \hat{P}_{000} &= \\
 (X + 2\alpha)P_{100} &= XP_{000} \\
 (X + 2\alpha)P_{101} &= 2\alpha P_{110} \\
 (X + 2\alpha)P_{210} &= XP_{110} + 2\beta P_{301} \\
 (\alpha + 2\alpha)P_{201} &= XP_{101} + 2\beta P_{210} \\
 (X + 2\alpha)P_{310} &= XP_{210} + 2\beta P_{401} \\
 (X + 2\beta)P_{301} &= XP_{201} + 2\alpha P_{310} \\
 (X + 2\alpha)P_{410} &= XP_{310} + 2\beta P_{501} \\
 (X + 2\alpha)P_{401} &= XP_{301} + 2\beta P_{410} \\
 (X + 2\alpha)P_{510} &= XP_{410} + 2\beta P_{601} \\
 (X + 2\alpha)P_{501} &= XP_{401} + 2\beta P_{510} \\
 (X + 2\beta)P_{610} &= XP_{510} + 2\alpha P_{701} \\
 (X + 2\beta)P_{601} &= XP_{501} + 2\alpha P_{610} \\
 2\alpha P_{701} &= \hat{P}_{601} + 2\beta P_{701} \\
 \hat{P}_{701} &= \hat{P}_{610}
 \end{aligned}$$

$$i=0, j=0, k=0$$

При решении системы уравнений одно из них заменяется на условие нормировки

Вероятности  $P_{ijk}$  являются основой для определения показателей мощности ремонтных участков. Для этих показателей в СМО М/Е2/1/6 получены следующие выражения :

- вероятность отказа

$$P_{отк} = p + p_{701}$$

- относительная пропускная способность участка

$$Ч \sim 1 \sim (\lambda_{710} + P_{дл})$$

- абсолютная суточная пропускная способность ремонтного участка

$$A = 24\% (1 - (P_{710} + P_{701}))$$

- среднее число локомотивов, ожидающих обслуживания или ремонта

$$\Gamma = (\lambda_{210} + \lambda_{201}) \cdot Ч P_{310} \quad P_{301}) + X P_{410} + P_{401}) + \lambda_{510} + P_{501}) + \\ + 5(P_{6ю} + P_{6oi}) + \lambda(P_{7ю} + P_{701})$$

- среднее время ожидания локомотива в очереди

$$\lambda_{ож} = \lambda(P_{ц0} + P_{101}) + \lambda(\lambda_{210} + P_{201}) + \lambda_{ц}(\lambda_{3ю} + P_{301}) + \\ + \lambda_{д}(\lambda_{410} + P_{401}) + \lambda_{ц} (P_{510} + P_{501}) + (P_{6ю} + P_{601}) \\ / \Gamma^* \quad / \Gamma^* \quad / \Gamma^* \quad / \Gamma^*$$

- среднее время пребывания локомотивов в системе

$$t_{НСТ} = ЮЖ + \\ / Ц$$

- среднее число занятых стоек

$$Z = 24X(1 - (P_{710} + P_{701}))/ Ч$$

Численный коэффициент 24 в выражениях для A и Z объясняется тем, что размерность X и ц - это [ч<sup>1</sup> J, а в депо принято эти выражения приводить к суткам.

На основании граф-модели (рис. 4.16) получена система линейных алгебраических уравнений Колмогорова относительно вероятностей состояний для СМО типа М/Ез/2/4 :

$$З P_{юoi} + P_{оооо} - 0$$

$$\lambda P_{оооо} + 3Ц P_{210} (3ц + X) P_{1100} = 0$$

$$\lambda P_{ц00} + 3ц P_{зoi} (бц + X) P_{2200} - 0$$

$$\lambda_{2200} 3^{\lambda P / Ц} (бц + X) P_{3200}$$

$$\lambda P_{з200} + 3ц P_{бюi} (бц + \lambda) P_{4200} = 0$$



$$^4200 \text{ ЗцРбІОІ (бЦ + ^)P\$200} = 0$$

$$^5200 = \text{бцРбгоо} = 0$$

$$\text{ЗцРцоо "Р ЗцРгоп} - (3\text{ц} + ^)\text{Рюю} = 0$$

$$^1010 + 6^2200 + \text{ЗцРзоп} = (\text{бЦ} \wedge 2110 \sim \text{®})$$

$$^3^*2110 \wedge \text{НРз200} + \text{ЗцРдоп} - (\text{бЦ} + X >_{3110} = 0$$

$$\text{АР3110} + \text{бцРдгоо ЗцР5011} = (\text{бЦ} + ^)\text{P4ii0} = 0$$

$$^4110 + 6\text{ЦР5200} + \text{ЗцР}_{6011} = (\text{бЦ} + X)\text{P}_{5\Pi0} = 0$$

$$^5110 \blacksquare^* \text{бНРб200} = \text{бцРбію} = 0$$

$$\text{ЗцРюю} + 6\text{ЦР2002} - (3\text{ц} \text{"1" X})\text{P}_{1001} = 0$$

$$\wedge \text{Ріооі ЗцРіпо} + 6\text{цРзoo2} = (\text{бЦ} + A/)\text{P}_{2i0i} = 0$$

$$^2101 + \text{ЗцРзпо} + 6\text{цР}_{4002} - (\text{бЦ} + \backslash)\text{P}_{3i0i} = 0$$

$$\wedge \text{РзіОІ "Р ЗцРдпо} + 6\text{цР5002} = (\text{бЦ} + ^)\text{P4Ю1} = 0$$

$$^4101 + \text{ЗцРбпо} + \text{бцРбоог} = (\text{бИ} + ^)\text{P5i0i} = 0$$

$$^5101 \text{"Р ЗцРбПО} - 6\text{цР}_{6i0i} = 0$$

$$\text{ЗцРіПО} = ^2020 - 6^2020 \sim$$

$$^2020 \text{"Р ЗцРзпо} - (\text{бН} \text{"Р} \wedge)\text{P}_{3020} =$$

$$^3^*3020 \text{"Р ЗцРдпо} = (6^ \text{"Р} \wedge)\text{P}_{4020} =$$

$$^3^4020 \text{"Р ЗцРбію} - (\text{бЦ} + ^)\text{P}\$020 = 0$$

$$^5020 \text{ЗцРБИО} - (\text{бЦ} + ^)\text{P}_{6020} = 0$$

$$\text{ЗцРцої} + 6\text{цР2020} - (\text{бЦ} \wedge)\text{P}_{2011} = 0$$

$$^2011 \text{"*"} \text{ЗцРзюі} + 6\text{цР}_{3020} - (\text{бЦ} + A,)\text{P}_{30\text{ц}} = 0$$

$$\wedge \text{Рзоп} + \text{ЗцРдюі} + 6\text{цР}_{4020} = (\text{бЦ} + A,)\text{P}_{4011} = 0$$

$$^4011 + \sim^5101 + ^5020 \sim (\text{бЦ} + \text{ЮР50П} =$$

$$^5011 + \text{ЗцР}_{6i01} + 6\text{рР}_{6020} \sim \text{бцР}_{6011} = 0$$

$$\begin{aligned}
3\lambda_{2011} & (6\zeta + \lambda_{2002} \text{ " O} \\
\lambda_{2002} + 3\zeta P_{30\Pi} & \text{ --- } (6\zeta + = 0 \\
\lambda_{P3002} & \text{ --- } X)P_{3002} = 0 \\
\lambda_{4002} & + 3\zeta P_{5011} \text{ --- } (6\zeta + = 0 \\
\lambda_{5002} & + 3\lambda_{\text{OИ}} \% P_{4002}
\end{aligned}$$

При решении системы уравнений одно из них заменяется на условие нормировки

$$\sum_{i=0}^6 \sum_{k=0}^2 \sum_{f=0}^2 E_i E_k E_f R_{\zeta\Pi}^{\wedge 1} = 1$$

Через вероятности состояний  $P_{ijki}$  определены показатели мощности ремонтного участка локомотивов на 2-х стойлах в соответствии с ранее принятыми обозначениями :

$$\begin{aligned}
P_{\text{отк}} &= P_{6200} + P_{6\Pi O} + P_{6101} + P_{6020} + P_{6OИ} + P_{6002} > \\
q &= 1 - P_{\text{отк}}; \\
A &= 24/1(1 - (P_{6200} + P_{6\Pi O} + P_{6101} + P_{6020} + P_{6OИ} + P_{6002})); \\
r &\sim P_{3200} + P_{3110} + P_{3101} + P_{3020} + P_{3011} + P_{3002} + \\
&+ 2 * (P_{4200} + P_{4110} + P_{4101} + P_{4020} + P_{4011} + P_{4002}) + \\
&+ 3 * (P_{5200} + P_{5110} + P_{5101} + P_{5020} + P_{5011} + P_{5002}) + \\
&+ 4 * (P_{6200} + P_{6\Pi O} + P_{6101} + P_{6020} + P_{6OИ} + P_{6002}) > \\
1^{\circ} \text{Ж} &\text{ --- } (\lambda_{2200} + \lambda_{2110} + P_{2101} + P_{2011} + P_{2020} + P_{2002}) + \\
\Pi &(P_{3200} + P_{3110} + P_{3101} + P_{3011} + P_{3020} + P_{3002}) + \\
&+ 2(P_{4200} + P_{4110} + P_{4101} + P_{4020} + P_{4011} + P_{4002}) + \\
&+ 3\Pi (P_{5200} + P_{5110} + P_{5101} + P_{5020} + P_{5011} + P_{5002}) + \\
t &= 1 + V \cdot \frac{1}{\Pi} > \\
\tau &= 24V/1 (P_{6110} + P_{6101} + P_{6020} + P_{60\Pi} + P_{6002}) !
\end{aligned}$$

На основании граф-модели (рис. 4.17) получена система линейных алгебраических уравнений Колмогорова относительно вероятностей состояний  $P_{ijk}$  для  $M/E_2/3/5$  :

$$2P_{101} - P_{000} \sim 0$$

$$P_{000} - \lambda P_{211} - (\lambda + \mu)P_{200} \sim 0$$

$$\lambda P_{110} + \mu P_{300} - (\lambda + 4\mu)P_{220} = 0$$

$$\lambda P_{220} - 2\mu P_{211} - (\lambda + 6\mu)P_{330} = 0$$

$$P_{330} + 2\mu P_{521} - (\lambda + 6\mu)P_{430} = 0$$

$$\lambda P_{430} - 2\mu P_{621} - (\lambda + 6\mu)P_{530} = 0$$

$$\lambda P_{330} + \mu P_{721} - (\lambda + 6\mu)P_{630} = 0$$

$$\lambda P_{630} + \mu P_{300} - (\lambda + 6\mu)P_{730} = 0$$

$$\lambda P_{730} - \mu P_{830} = 0$$

$$2\mu P_{200} - 4\mu P_{202} - (\lambda + 2\mu)P_{101} = 0$$

$$P_{101} - 4\mu P_{220} + 4\mu P_{312} \sim (\lambda +$$

$$4\mu)P_{211} = 0$$

$$\lambda P_{200} - 6\mu P_{330} - 4\mu P_{412} - (\lambda + 6\mu)P_{321} = 0$$

$$P_{321} + 6\mu P_{200} + 4\mu P_{512} - (\lambda + 6\mu)P_{421} =$$

$$0$$

$$\lambda P_{421} + 6\mu P_{530} + 4\mu P_{612} - (\lambda + 6\mu)P_{521}$$

$$= 0$$

$$P_{521} - 6\mu P_{630} - 4\mu P_{712} - (\lambda +$$

$$6\mu)P_{621} = 0$$

$$\lambda P_{621} - \mu P_{730} + 4\mu P_{812} - (\lambda + 6\mu)P_{721} = 0$$

$$P_{721} - \mu P_{830} - 6\mu P_{821} = 0$$

$$P_{202} - 4\mu P_{321} + 6\mu P_{403} - (\lambda + 6\mu)P_{312} =$$



$$P_{712} + 4P_{821} - P_{812} = 0$$

$$2P_{312} - (P_{30} + 6P_{303}) = 0$$

$$P_{303} - (P_{30} + 6P_{303}) = 0$$

$$P_{403} + P_{512} - (P_{503} + 6P_{503}) = 0$$

$$P_{503} + P_{612} - (P_{603} + 6P_{603}) = 0$$

$$P_{703} + 2P_{812} - 6P_{803} = 0$$

$$i=0 \quad j=0 \quad k=0$$

$$i=0 \quad j=0 \quad k=0$$

Через вероятности состояний  $P_{ijk}$  определены основные показатели мощности ремонтных участков локомотивов на 3-х стойлах в соответствии с ранее принятыми обозначениями:

$$P_{отк} = P_{830} + P_{821} + P_{812} + P_{803}$$

$$C \sim - (P_{830} + P_{821} + P_{812} + P_{803})$$

$$A = 24X(1 - (P_{830} + P_{821} + P_{812} + P_{803}))$$

$$\Gamma = P_{430} + P_{421} + P_{412} + P_{403} + (P_{530} + P_{521} + P_{512} + P_{503}) + (P_{630} + P_{621} + P_{612} + P_{603}) + 4(P_{730} + P_{721} + P_{712} + P_{703}) + 5(P_{830} + P_{821} + P_{812} + P_{803})$$

$$1^{ож} = (P_{330} + P_{321} + P_{312} + P_{303}) + 3(P_{430} + P_{421} + P_{412} + P_{403}) +$$

$$4(P_{530} + P_{521} + P_{512} + P_{503}) +$$

$$4(P_{630} + P_{621} + P_{612} + P_{603}) + 4(P_{730} + P_{721} + P_{712} + P_{703}) + 5(P_{830} + P_{821} + P_{812} + P_{803})$$

$$+ (P_{730} + P_{721} + P_{712})$$

$$t \text{ СИСТ} - \text{ЮЖ} 1 \quad /11? \quad -1 \quad + \quad q/ \quad \cdot$$

$$Z = 24X(1 - (P_{830} + P_{821} + P_{812} + P_{803})) / C$$

На основании граф-модели (рис. 4.18) получена система линейных алгебраических уравнений Колмогорова относительно вероятностей состояний для СМО тиля

M/E<sub>2</sub>/4/3 :

$$2pP_{101} - X P_{000}$$

$$P_{000} + 2pP_{101} - (2p + X)P_{110} = 0$$

$$P_{100} + 2pP_{321} - (4p + X)P_{220} = 0$$

$$P_{220} + P_{ЦРДЗ} - (6p + X)P_{330} = 0$$

$$P_{330} + 2pP_{531} - (8p + X)P_{440} = 0$$

$$P_{РДдо} + 2pP_{631} - (8p + X)P_{540} = 0$$

$$P_{540} + 2pP_{731} - (8p + X)P_{640} = 0$$

$$P_{640} - 8P_{740} = 0$$

$$P_{ЭДю} + 4pP_{202} - (2p + X)P_{101} = 0$$

$$P_{Ріоі} + 4pP_{220} - 4pP_{312} - (4p + X)P_{211} = 0$$

$$P_{РГП} + 6pP_{330} - 4pP_{422} - (6p + X)P_{321} = 0$$

$$P_{Рз2і} + 8pP_{440} - 4pP_{522} - (8p + X)P_{431} = 0$$

$$X P_{431} + 8pP_{540} + 4pP_{622} - (8p + X)P_{531} = 0$$

$$P_{P531} + 8pP_{640} - 4pP_{722} - (8p + X)P_{631} = 0$$

$$P_{Рбзі} + 8pP_{740} - 8pP_{731} = 0$$

$$P_{pPці} + 6pP_{303} - (4p + X)P_{202} = 0$$

$$P_{202} + 4pP_{321} + 6pP_{413} - (6p + X)P_{312} = 0$$

$$P_{PзП} + 6pP_{431} + 6pP_{513} - (8p + X)P_{422} = 0$$

$$P_{422} + 6pP_{531} - 6pP_{613} - (8p + X)P_{522} = 0$$

$$P_{P§22} + 6pP_{631} - 6pP_{713} - (8p + X)P_{622} = 0$$

$$P_{Pб22} + 6pP_{731} - 8pP_{722} = 0$$

$$\begin{aligned}
&AP3O3 \text{ 4ц?422 "■ 8^504 " (8Ц ^)?413 =} \\
&^413 \text{ 4ЦP522 + 8ЦP604 - (8ц + ^)P5i3 = 0} \\
&^513 + 4цP622 "I" \text{ 8ЦP704 " (8ц + X)P613 — 0} \\
&ЛP_{613} + 4]ИP_{722} - 8цP_{713} = 0 \\
&2ЦP_{413} - (8ц + X)P_{404} = 0 \\
&^404 \text{ ^ЦPзi3 - (8ц + %)P504 = 0} \\
&^504 \text{ 2цP613 - (8ц + ^)P604 = 0} \\
&^P604 "■ ^цPуiз ~ 8ЦP_{704} = 0 \\
&ШP_{i,j} = 1 \\
&i=0j=0k=0
\end{aligned}$$

Через вероятности состояния  $P_{ijk}$  определены основные показатели мощности ремонтных участков локомотивов на 4-х стойлах в соответствии с ранее принятыми / обозначениями:

$$\begin{aligned}
P_{отк} &= P_{740} + P_{731} + P_{722} + P_{713} + P_{704} \\
q &= 1 - (P_{740} + P_{731} + P_{722} + P_{713} + P_{704}) \\
A &= 24 * (P_{740} + P_{731} + P_{722} + P_{713} + P_{704}) \\
r &= P_{540} + P_{531} + P_{522} + P_{513} + P_{504} + 2(P_{640} + P_{631} + P_{622} + \\
&\quad + P_{613} + P_{604}) + X * (P_{740} + P_{731} + P_{722} + P_{713} + P_{704}) \\
ЮЖ &= \frac{1}{2} * (P_{440} + P_{431} + P_{422} + P_{413} + P_{404}) + \frac{1}{2} * (P_{540} + P_{531} + \\
&\quad + P_{522} + P_{513} + P_{504}) + \frac{1}{2} * (P_{640} + P_{631} + P_{622} + P_{613} + P_{604}) \\
СИСТ &= ЮЖ * H - q / \text{ц}; \\
Z &= 24 * X * (1 - (P_{740} + P_{731} + P_{722} + P_{713} + P_{704})) / \text{ц},
\end{aligned}$$

Учитывая трудоемкость предложенного метода, для определения показателей мощности ремонтных участков локомотивов депо был разработан алгоритм и соответствующие программы расчетов для каждого типа СМО. На основании анализа

приведенных. выше систем уравнений Колмогорова исходными данными являются только интенсивности входящих потоков  $\lambda$  и обслуживающих потоков  $\mu$ , через которые выражены коэффициенты этих систем уравнений. Для каждого типа СМО сформирована матрица  $A(I,J)$  коэффициентов при неизвестных вероятностях состояний  $P_{ijk}$  или  $P_{ijkl}$  и столбец свободных членов  $B(1)$  соответствующих размеров (по числу уравнений системы).

Так для СМО М/Е2/1/6 матрица  $A(I,J)$  имеет размер  $15 \times 15$ , а столбец  $B(1)$  - размер 15; для СМО М/Ез/2/4 матрица  $A(I,J)$  имеет размер  $34 \times 34$ , а столбец  $B(1)$  - размер 34; для СМО М/Е2/3/5 и М/Е2/4/3 размеры матриц  $A(I,J)$  равны  $30 \times 30$ , а соответственно столбцы  $B(1)$  имеют размер - 30. Значения элементов столбцов свободных членов равны 0, кроме одного, соответствующего нормировочному условию, для которого  $B(1)=1$ .

Сформированные таким образом массивы  $A(I,J)$  и  $B(1)$ , являются исходными данными для обращения к стандартной подпрограмме решения системы линейных алгебраических уравнений. Результатом решения являются значения предельных вероятностей  $P_{ijk}$  или  $P_{ijkl}$ , которые заносятся в массив  $B(1)$ . На основании полученных значений  $P_{ijk}$  или  $P_{ijkl}$  вычисляются значения показателей мощности для ремонтных участков локомотивов:  $P_{0k}^q, A, r, 1 \text{ож.}, 1 \text{сист.}, 2$  по формулам, полученным для каждого типа СМО. Учитывая, что интенсивности входящих и обслуживающих потоков  $\lambda$  и  $\mu$  изменяются в определенных ранее областях значений /табл.4.2, 4.4/, в программе предусмотрены два цикла - внутренний, где изменяется  $\lambda$  от  $\lambda_{\min}$  до  $\lambda_{\max}$  с шагом  $\Delta\lambda$  и внешний, где изменяется  $\mu$  от  $\mu_{\min}$  до  $\mu_{\max}$  с шагом  $\Delta\mu$ . Структурная схема этой программы приведена на рис.4.19. Таким образом, разработанный комплекс логических и вычислительных процедур и алгоритмов, а также пакет соответствующих им программ на ПЭВМ представляют собой преобразование 0, позволяющее получить множество выходных данных  $V$  - показателей мощности участков ТО и ТР локомотивов в депо. Т.е. модель массового обслуживания, описывающая функционирование ремонтных участков сформирована

Структурная схема для расчета параметров мощности участков ТО как систем массового обслуживания

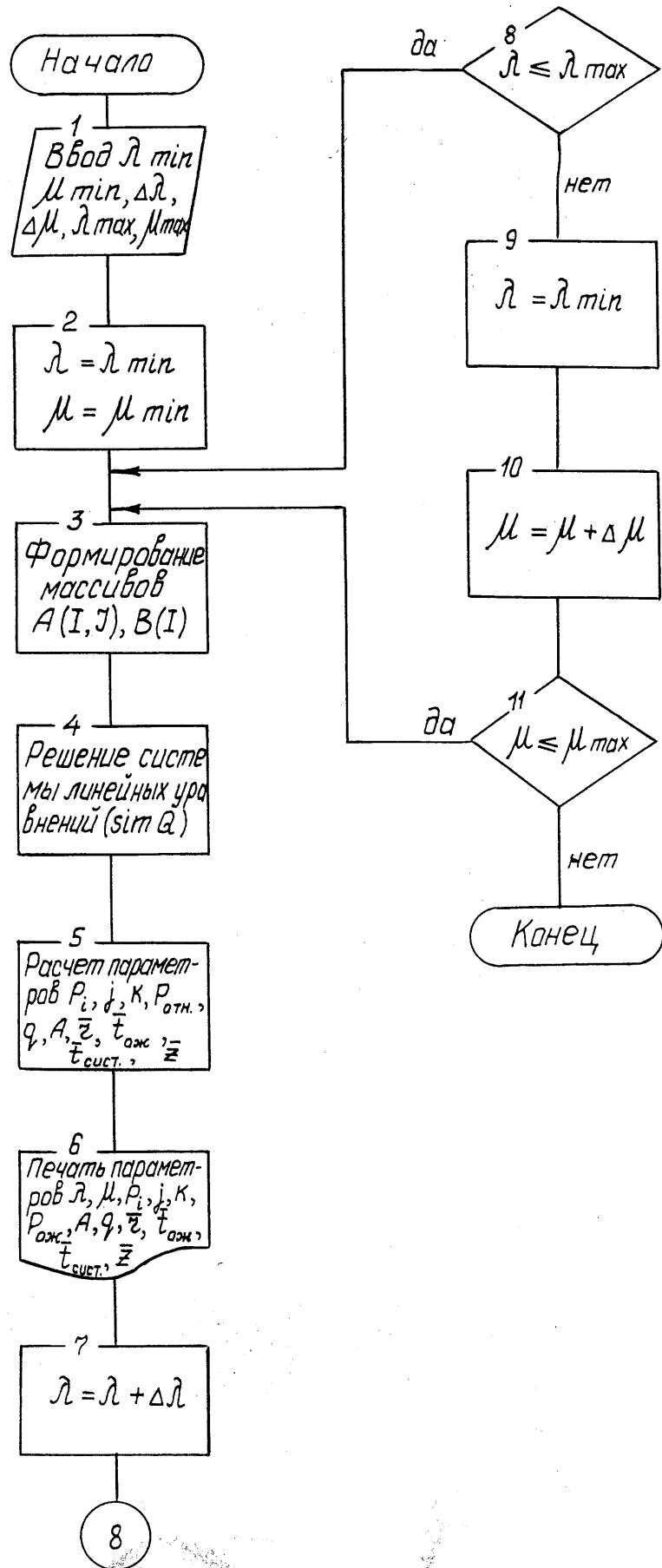


Рис. 4.19

0:В-> V.

Проанализируем полученное множество выходных данных  $V$  с точки зрения характера их изменения и соответствия физическому смыслу.

В соответствии с разработанной программой проведены расчеты и построены номограммы показателей мощности ремонтных участков локомотивов в функции загрузки системы  $p = \% / Ц$ . Номограммы представляют собой два семейства зависимостей исследуемых показателей мощности при  $L_i = \text{const}$  и  $Ц = \text{const}$ , наложенные друг на друга для удобства пользования номограммой. Некоторые из этих номограмм, характеризующие функционирование участков ТО и ТР на 3-х стойлах (СМО М/Еi/3/б), представлены на рис.4.20-4.23. Номограммы при других вариантах проведения ТО и ТР представлены в Приложении 2 для различных областей изменения  $\%$  и  $ц$ . Они позволяют определить значения показателей мощности ремонтных участков локомотивов в депо при заданных интенсивностях  $X$  и  $ц$ , не прибегая к решению задачи по предложенной методике и минуя довольно трудоемкую стадию создания граф-модели. Номограмма для определения абсолютной пропускной способности  $A = f(p)$  /рис.4.20/ при  $Ц = \text{const}$  отражает два возможных состояния системы - “активную” область при  $p < 3$  (имеются резервы абсолютной пропускной способности) и так называемую область “насыщения” при  $p > 3$ , в которой величина абсолютной пропускной способности остается постоянной при росте  $X$ , а возрастают значения  $l_{ож.}, i_{сист.}$  и  $\Gamma$  /рис.4.21-4.23/.

Таким образом, это семейство зависимостей  $A = f(p)$  описывается монотонно возрастающими функциями, имеющими горизонтальные асимптоты, соответствующие максимальной пропускной способности данного ремонтного участка при данном  $ц = 1 / l_{обсл}$ ,

Семейство зависимостей  $A = f(p)$  при  $\% = \text{const}$  носит монотонно убывающий характер с ростом  $p = X / Ц$ . Это вполне соответствует физическому смыслу, так как величина абсолютной пропускной способности естественно уменьшается с

# Номограмма для определения абсолютной пропускной способности $S$

СМО М/Е. [3/5]

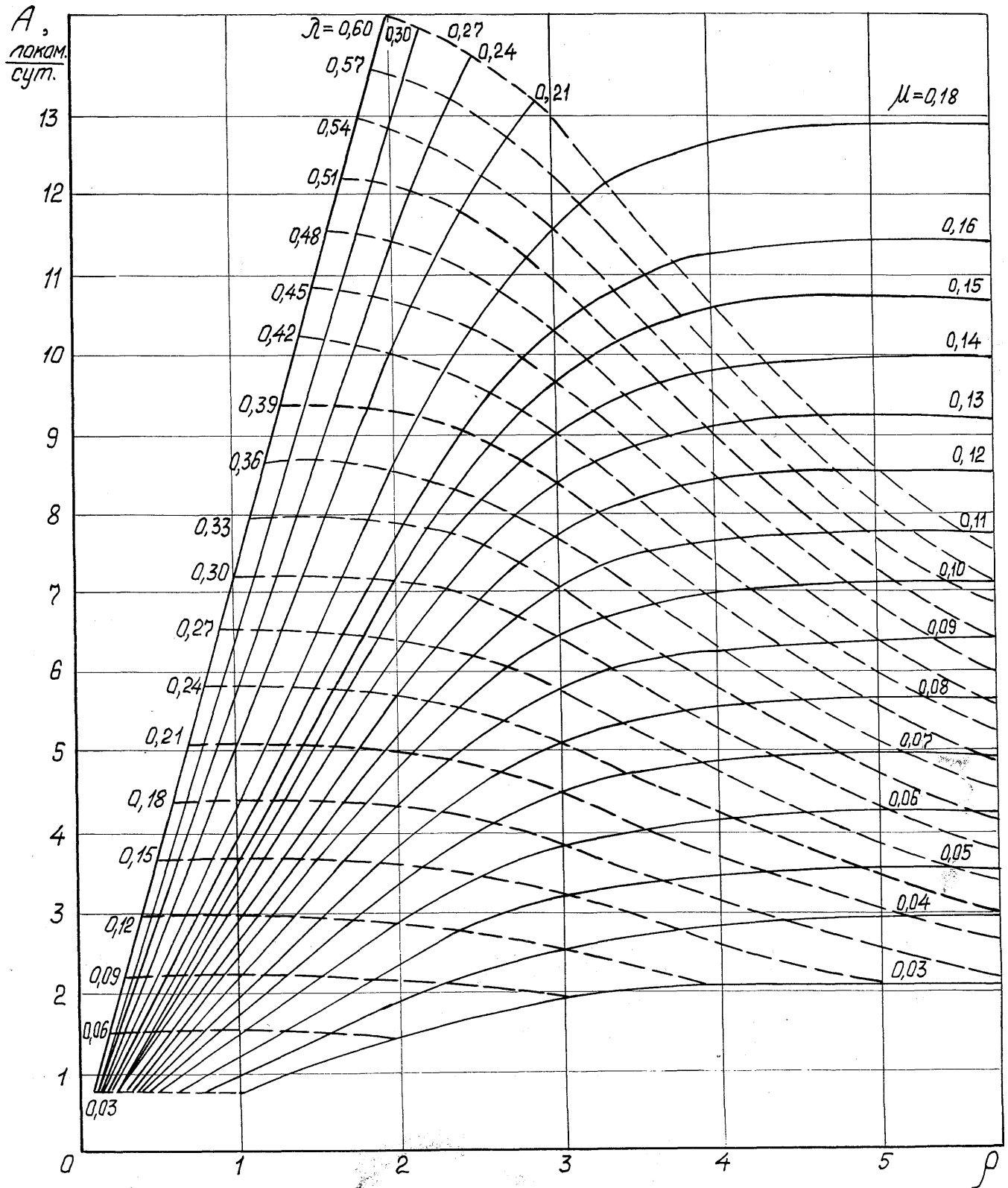


Рис. % 20

Номограмма для определения среднего времени ожидания для СМО M|E<sub>2</sub>|3|5

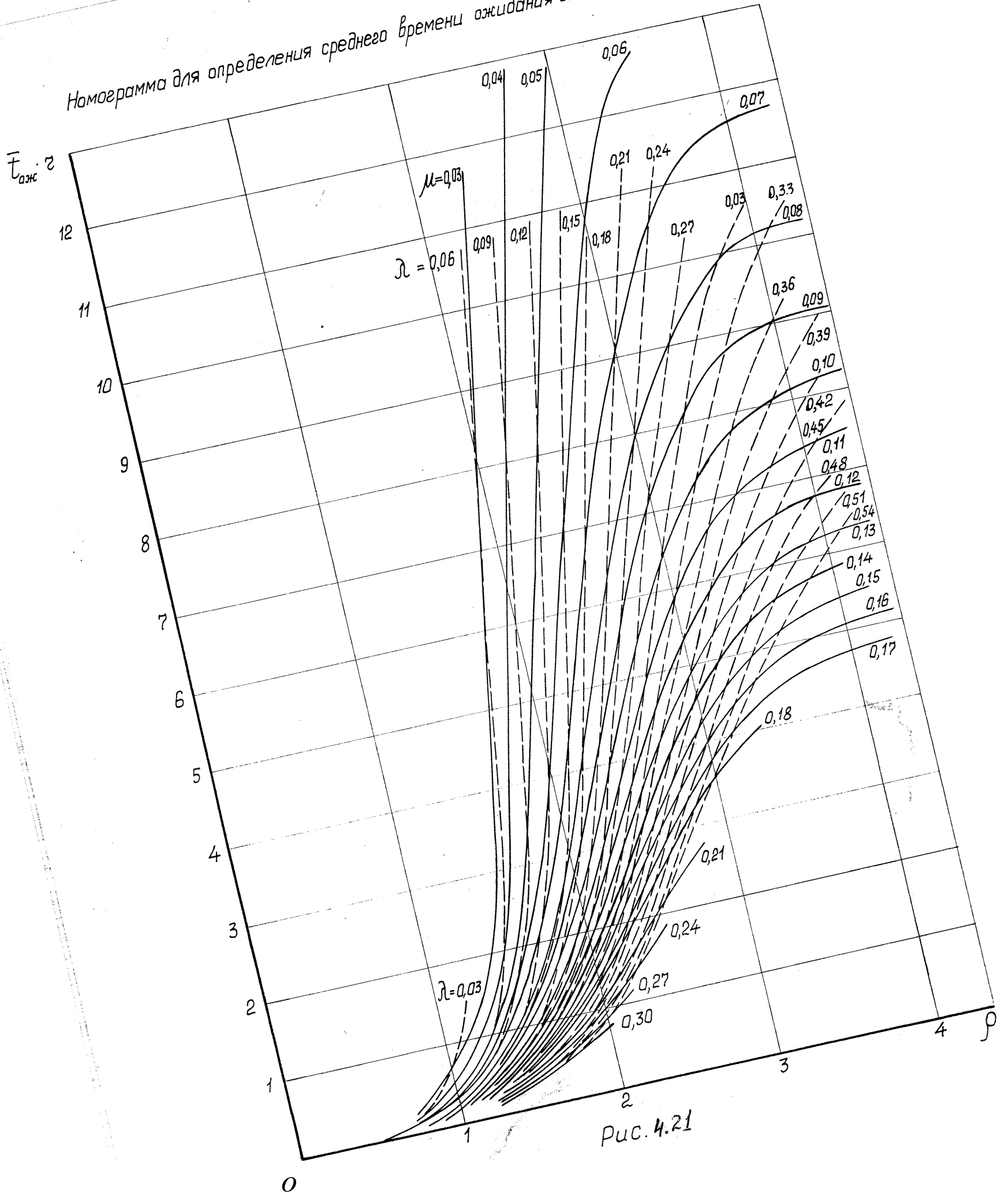


Рис. 4.21

Номограмма для определения общего времени среды дания  
 те пл о дозо д д системе С МО М/Е ]з}5

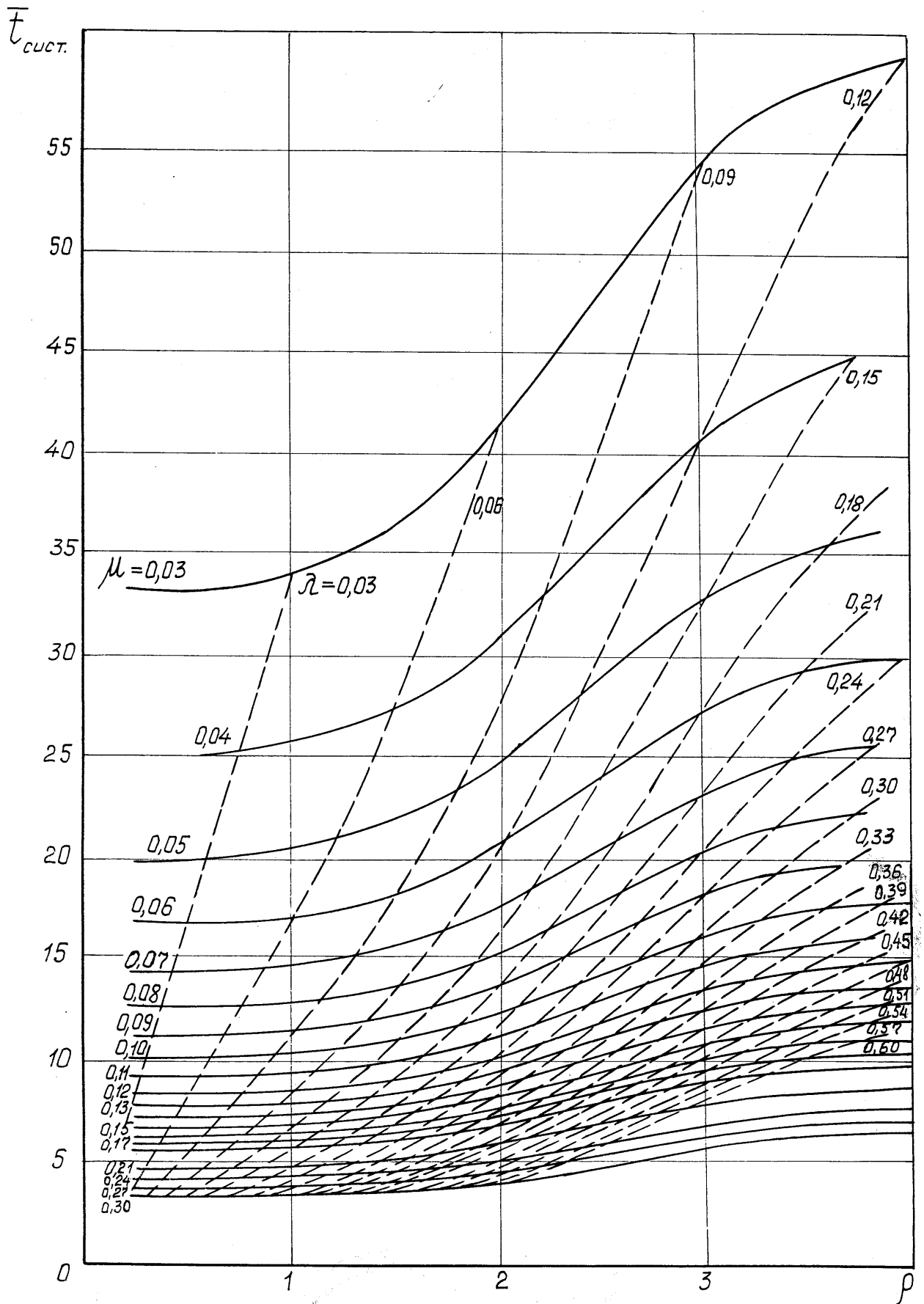


Рис. 4.22

Номограмма для определения средней длины очереди локомотивов

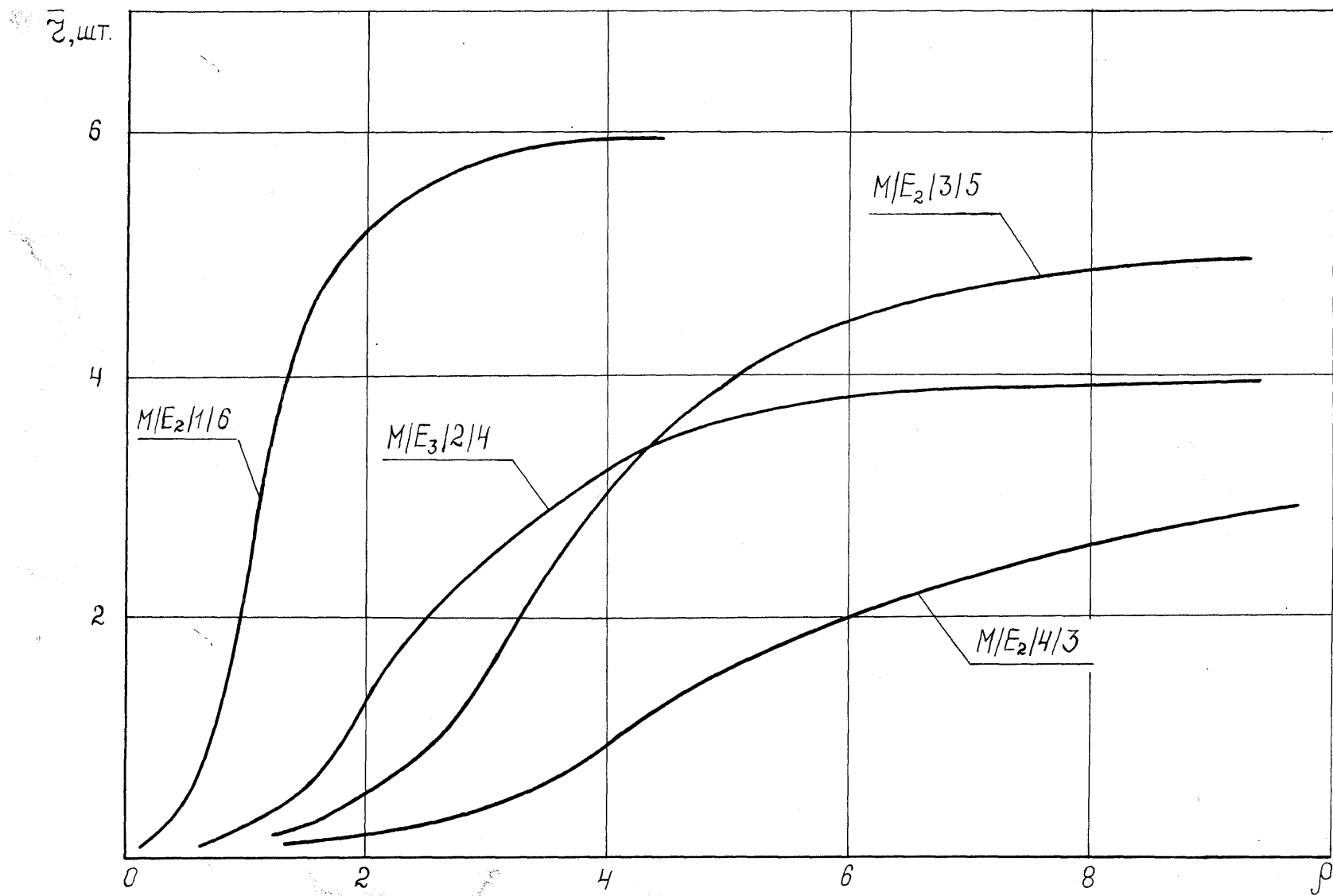


Рис. 4.23

уменьшением  $\rho = 1 / \lambda$  обслуж. что соответствует увеличению времени обслуживания или ремонта локомотива на стойле  $t_{\text{обсл}}$ . Номограммы для определения  $L_{\text{ож.}}$  и  $L_{\text{сист.}}$  /рис.4.21,4.22/ носят монотонно возрастающий характер с ростом  $\rho$ , как при  $\kappa = \text{const}$  с уменьшением  $\rho$ , так при  $\rho = \text{const}$  с увеличением  $X$ . При этом зависимости  $L_{\text{ож.}} = f(\rho)$  и  $t_{\text{сКСТ.}} = f(\rho)$  при  $X = \text{const}$  возрастают быстрее (больше тангенс угла наклона касательной в точках кривых), чем зависимости  $L_{\text{ож.}} = f(\rho)$  и  $L_{\text{сист.}} = f(\rho)$  при  $\rho = \text{const}$ . Таким образом, система более чувствительна к изменению интенсивности  $\rho = 1 / \lambda$  обслуж, чем к изменению интенсивности  $X = 1 / \lambda^{\wedge}$ . Величина средней длины очереди  $\Gamma$  /рис.4.23/ зависит только от отношения  $X / \rho$  и представляет собой одну монотонно возрастающую зависимость  $\Gamma = f(\rho)$ , асимптотически приближающуюся к величине  $t=5$  - ограничению по выбранной длине очереди.

Аналогичные тенденции характерны для номограмм в других типах СМО (Приложение 2 ). При этом характерной точкой для номограмм абсолютной пропускной способности  $A = f(\rho)$  во всех типах исследуемых СМО при  $\rho = \text{const}$  является значение пропускной способности при  $\rho = \Pi$ , ( $\Pi$  - число стоек на участке ТО и ТР). Данная точка отделяет область, где имеется запас (резерв) по пропускной способности, от так называемой области “насыщения”.

Помимо этого, получены интересные зависимости - номограммы для определения числа свободных стоек (резерва)  $L = \Pi - Z$ , которые представлены на рис.4.24. Эти номограммы  $L = f(\rho)$  носят монотонно убывающий характер с ростом  $\rho$  и описываются одной зависимостью.

Номограммы  $L = \Pi - Z$  сразу получили практическое применение. Так по заказу руководства Южной ж.д. в 1992г. (период значительного уменьшения грузопотока) возникла необходимость оценить появившиеся резервы стойловой части с целью их дальнейшего перераспределения.

Номограмма для определения числа простаивающих стоек

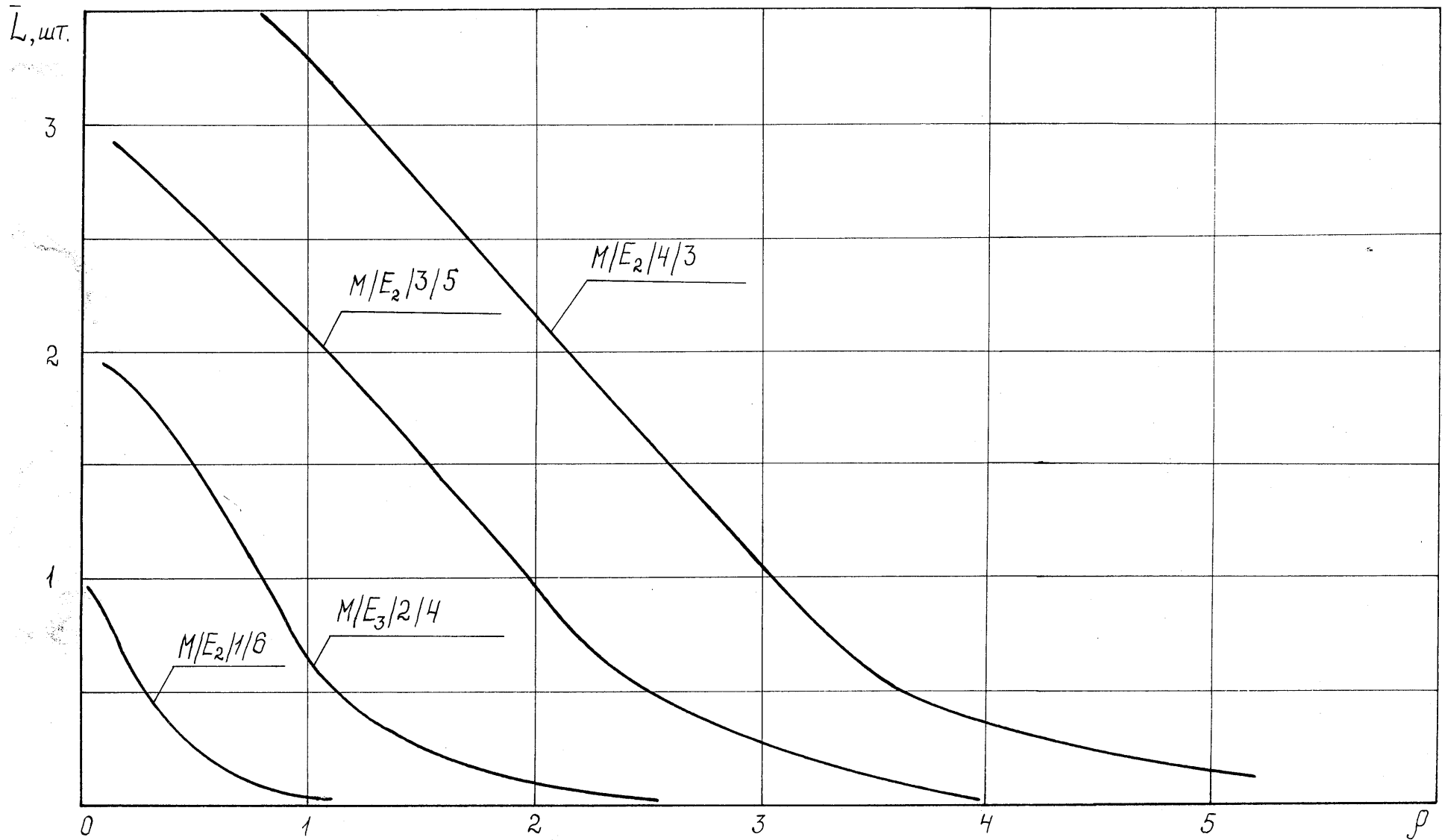


Рис. 4.24

### 4.3. Исследование и анализ погрешностей моделей функционирования участков ТО и ТР локомотивов как СМО

На основании исследований, проведенных в предыдущем разделе, сделан вывод, что существующая исходная информация, совокупность гипотез, а также постановка задачи дают основание принять для моделирования работы участков ТО-3, ТР-1 и НР локомотивов в депо многофазно-многолинейные модели вида:

$M/E2/1/6, M/E3/2/4, M/E2/3/5, M/E2/4/3.$

При этом, очевидно, что должна быть обеспечена адекватность разработанных моделей исследуемому процессу. Т.е. возникает естественный вопрос о близости получаемых выходных характеристик (показателей мощности участков ТО и ТР) аппроксимирующей модели к реальным характеристикам. Учитывая, что выходные характеристики представляют собой последовательности случайных величин или функции распределения положительных случайных величин, целесообразно оценки точности аппроксимации (погрешности) производить в терминах простых вероятностных метрик, в качестве которых могут использоваться метрика Леви  $L$ , метрика Леви-Прохорова  $t_s$  и метрика Канторовича  $K_0$  [128,151-158]. Использование в данном случае наиболее простой инженерной метрики  $\rho(X, X \sim Y)$  не всегда целесообразно, так как для адекватности аппроксимирующей и реальной моделей важна близость функций распределений  $F_X$  и  $F_Y$  случайных величин  $X$  и  $Y$ , а не только их средних  $X, Y$ .

Учитывая, что отличительной особенностью входных данных для почти любой реальной системы является их неполнота, недостаточная достоверность и неточность, полученные решения должны проверяться на устойчивость или чувствительность по отношению к отклонениям исходных данных и принятых гипотез. При этом свойство устойчивости рассматривается как фундаментальное свойство предлагаемых процедур. Поэтому несмотря на многолетние наблюдения и создание значительной базы данных для оценки входящих и обслуживающих потоков локомотивов на

участки ТО и ТР в депо для строгого математического обоснования необходима проверка экспоненциальной и гиперэрланговской аппроксимации входных данных модели. Другим возмущающим фактором могут быть принятые ограничения по количеству мест  $m$  для ожидания локомотивами проведения ТО-3, ТР-1 и НР.

Именно эти факторы повлияли на выбор простых вероятностных метрик  $L$ ,  $l$  и  $K_0$  для оценки точности полученных выходных показателей производственной мощности ремонтных участков локомотивов.

Как известно, расстояние между функциями распределений выходных характеристик аппроксимирующей и реальной моделей удобно измерить с помощью метрики Леви  $L$ , смысл которой - это сторона максимального квадрата, вписанного между графиками сравниваемых функций распределений  $F_x$  и  $F_y$ :

$$L(F_x, F_y) = \inf \{ s > 0: \\ F_x(x-s) < F_x(x) < F_x(x+s) + \epsilon \forall x \in R^1 \}$$

где  $R^1$  - Евклидово пространство.

Для сравнения функций распределения случайных величин целесообразно также использовать метрику Канторовича в виде:

$$K_0(F_x, F_y) = \int_0^{\infty} |F_x(t) - F_y(t)| dt$$

Для оценки близости по вероятности  $P_x$  и  $P_y$  самих случайных величин  $X$  и  $Y$  целесообразно использовать метрику Леви-Прохорова  $l$ :

$$l(X, Y) := \inf \{ H = H(\epsilon): (\epsilon > 0) \& (P_x(O) < P_y(O^\epsilon) + H) \forall O \in P \}$$

где  $P$  - пространство всех неубывающих непрерывных функций  $H(t)$ ,  $t > 0$ ;

$O^\epsilon$  —  $\epsilon$  — окрестность множества  $O$ .

<sup>4</sup> Таким образом, в условиях поставленной задачи для произвольного распределения выходных показателей мощности участков ТО и ТР локомотивов  $F_x$  и аппроксимирующего его гиперэрланговского распределения  $F_y = E_k$  справедливы

следующие универсальные оценки /128,154,158/ в терминологии указанных выше L, TC и K<sub>0</sub> метрик:

$$7i(F_x, E_k) < 8 + \max_{1 < k < N} P_k^s k_i$$

$$K_0(F_k, E_k) < 28 + \sum_{k=1}^N P_k E_k$$

В приведенных оценках  $\delta > 0$  - произвольное наперед заданное число;  $P_k$ - вероятности попадания случайной величины X в интервал  $[(k-1)\delta, k\delta]$ , т.е.

$P_k = F_x - F_x$ ; N - натуральное число, которое удовлетворяет условию

$$F_x((N-1)\delta) > 1 - \delta$$

для L и TC метрик и, кроме того, условию

$$\int_0^{\infty} (1 - F_x(x)) dx < \frac{\delta}{2}$$

для метрик K<sub>0</sub>; а S<sub>k</sub> задаются:

для метрики L — 
$$s_k = \max_{j \in \mathbb{N}} X_{kj} \frac{C}{\ln(1,48)}$$

для метрики L — 
$$s_k = \max_{j \in \mathbb{N}} X_{kj} \frac{1}{\ln(1,48)}$$

для метрики K<sub>0</sub> — 
$$s_k = \max_{j \in \mathbb{N}} X_{kj} \sqrt{\frac{2}{\pi(k-1)}}$$

где k - порядок распределения Эрланга (в нашем случае k = 1, 2, 3).

Анализируя приведенные метрики и их оценки, для оценки погрешностей модели была использована L - метрика Леви с учетом наиболее простых вычислительных процедур. При этом в терминологии L - метрики оценивалась близость функций распределений случайной величины времени ожидания локомотивов перед постановкой на стойло и числа локомотивов в очереди для аппроксимирующей и реальной моделей. Оценку точности выходных данных аппроксимирующей и реальной моделей, можно произвести с двух позиций.

1. Учитывая, что в предложенных моделях входящие и обслуживающие потоки описываются экспоненциальными и гиперэрланговскими функциями, выходящие потоки также являются гиперэрланговскими /128,159/. При этом порядок Эрланга выходящих потоков аппроксимирующей модели соответствует максимальному порядку потоков Эрланга, задающих динамику модели - В. Интенсивности выходящих потоков определяются как величины обратные средним значениям соответствующих показателей мощности участков ТО и ТР, полученные в предыдущем разделе.

2. Основанием для второго способа послужили результаты, полученные в /128,160-162/, которые доказывают, что можно приблизить любую функцию распределения неотрицательной случайной величины гиперэрланговской с наперед заданной точностью  $\delta$ . И поэтому в силу оценки полученной в /128/ можно аппроксимировать модель  $SM/E_k/n/m$  и, в частности, ее выходящие потоки марковской моделью. При этом в качестве оценки близости  $\gamma$  в смысле выбранной метрики для выходящих потоков можно взять точность аппроксимации произвольного распределения гиперэрланговским для входящих потоков модели.

Для оценки погрешности моделей периодически в локомотивных депо собиралась соответствующая статистическая информация, т.е. наряду с исходными данными, задающими динамику модели (входящий и обслуживающий потоки локомотивов) фиксировались статистические данные, характеризующие выходящие потоки (в частности случайные величины времени ожидания локомотивами ТО-3, ТР-1 и НР и числа локомотивов в очереди). Выходные данные фиксировались ежемесячно и поквартально.

На основании собранных статистических данных были построены эмпирические функции распределений  $F_t$ , которые сравнивались с соответствующими эрланговскими распределениями 1-го, 2-го и 3-го порядков с плотностями:  $E_1 = X * \exp(-Xt)$ ;  $E_2 = (2X)^2 * \exp(-2Xt)$ ;  $E_3 = (3X)^3 * \exp(-3Xt) / 2$  в смысле  $L$  - метрики Леви. Методика определения  $L(F_t, E_k)$  проиллюстрирована на рис.4.25. Как видно из рис.4.25 при оценке  $L(F_t, E_k)$  возникают задачи определения

Определение расстояния между функциями распределений  $F_t$  и  $E_d(p)$   
с помощью метрики Леса-L

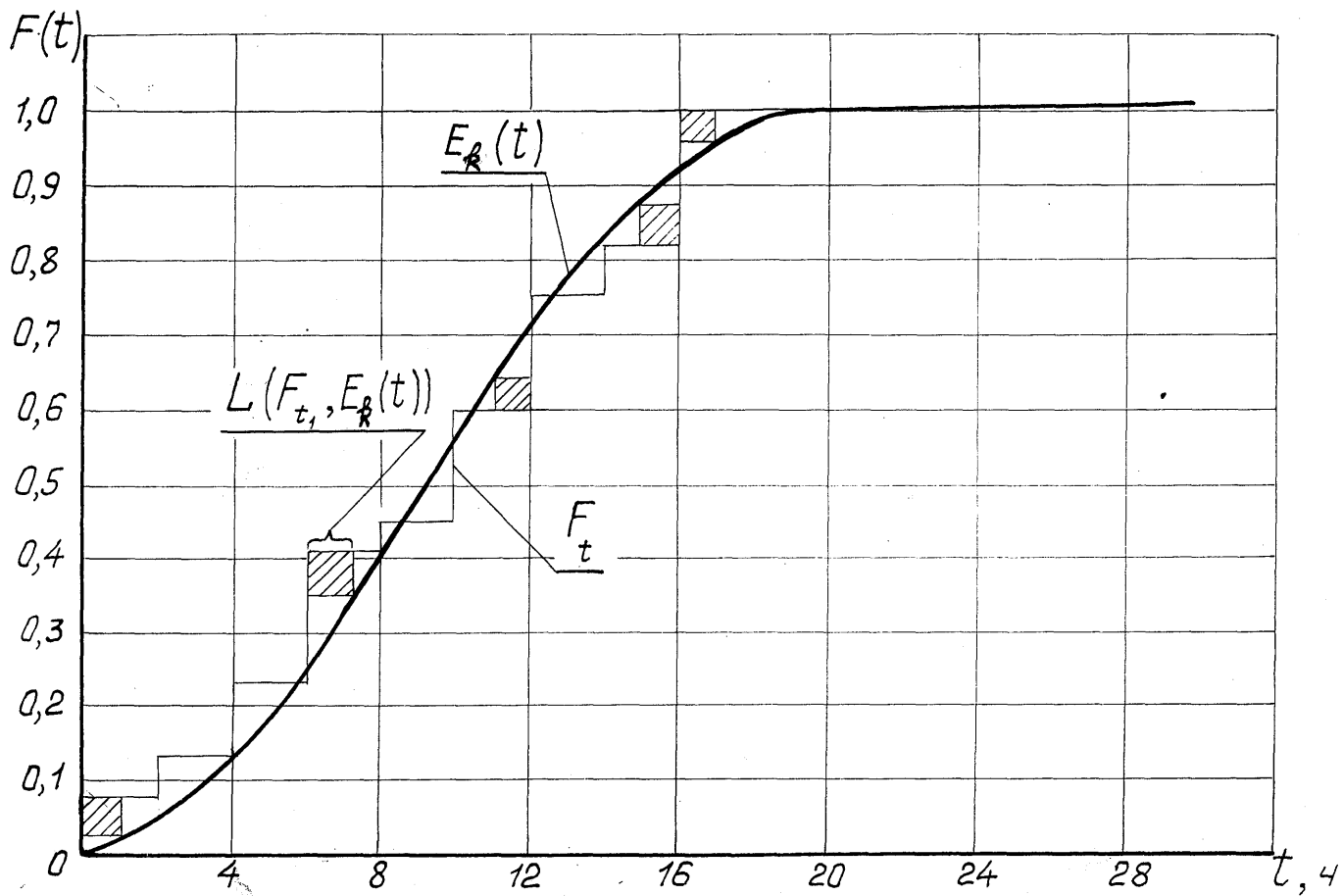


Рис. 4.25

стороны вписанного квадрата в криволинейную трапецию или треугольник, образованные между эмпирической функцией распределения

$$F(t) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N e^{-(t-T_k)}$$

где N- объем выборки; e(t) - функция единичного скачка (функция Хевисайда):

$$e(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0 \\ 1 & \text{при } t > 0 \end{cases}$$

и гиперэрланговской функцией E<sub>k</sub>(t). При вписывании квадрата в треугольник

целесообразно использовать легко получаемое соотношение  $C = \frac{\Gamma(ab)}{\Gamma(a)\Gamma(b)}$ , где C -

сторона вписанного квадрата, а и b - катеты прямоугольного треугольника. При вписывании квадрата в криволинейную трапецию задача решалась графически.

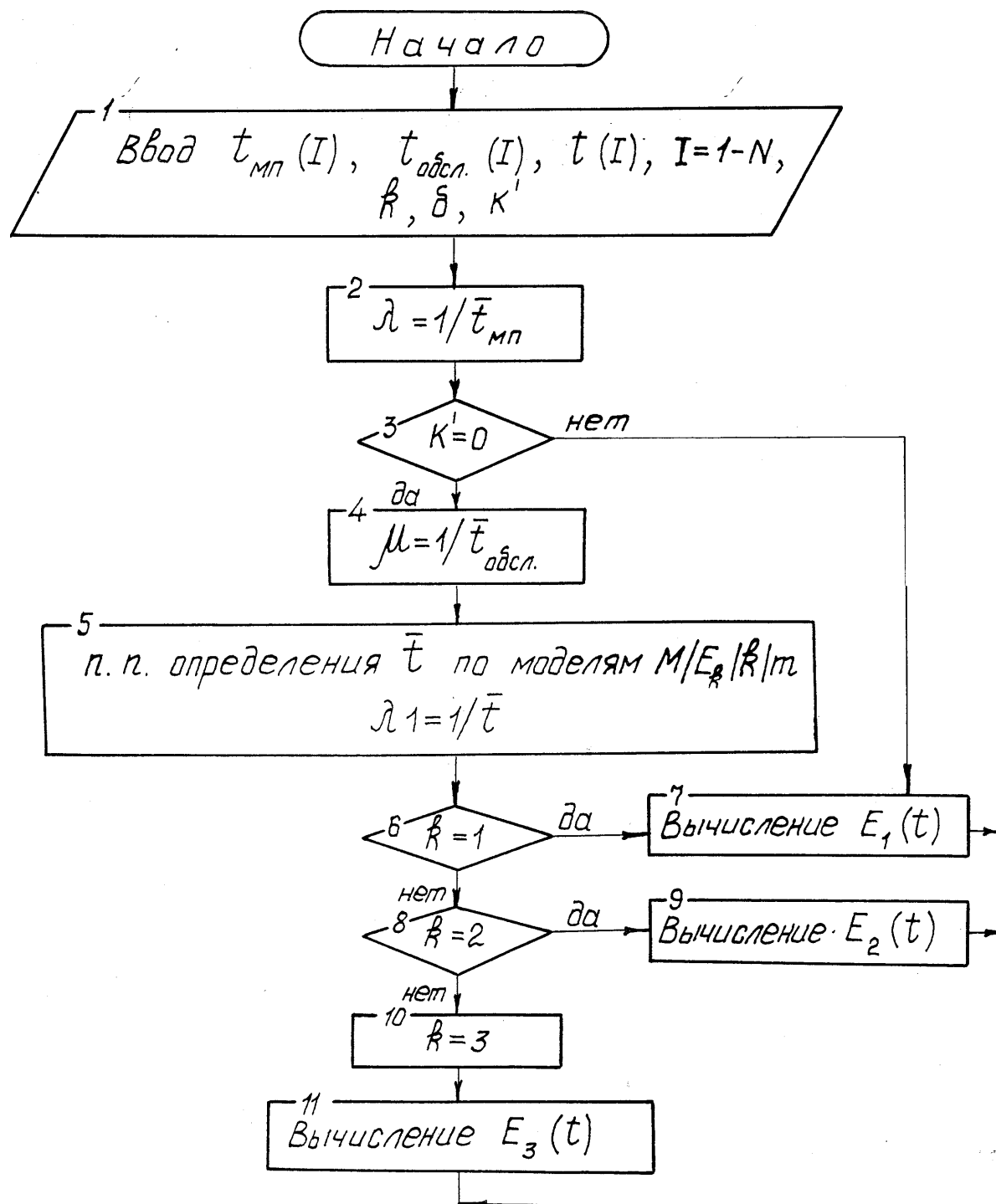
Полученные результаты сравнивались с универсальной оценкой приведенной выше для метрики L.

Учитывая значительную трудоемкость, предлагаемого процесса оценки погрешности, был разработан соответствующий алгоритм, реализованный в виде программы на ПЭВМ. Этот алгоритм помимо вычислительных процедур, включает использование графопостроителя. Укрупненная блок-схема программы приведена на рис.4.26.

Т. к. вычислительные процедуры по своей логике для обоих предлагаемых способов оценки погрешностей одинаковы, то целесообразно использовать одну и ту же программу, задаваясь разными исходными данными.

В соответствии с рис.4.26 в блоке 1 вводятся следующие массивы исходных данных:  $\tau_{инт}(1)$  - случайная величина интервалов времени между двумя последовательными проходами локомотивов через контрольный пост депо для проведения ТО-3, ТР-1 или ПР;  $\tau_{обсл}(1)$  - случайные промежутки времени простоя локомотивов на ремонтных стойлах;  $t(I)$  - случайные значения показателей мощности ремонтных участков (эмпирические выходящие потоки); N - объем выборки за исследуемый период; k - порядковый номер потока Эрланга;  $\beta$  - наперед заданное значение

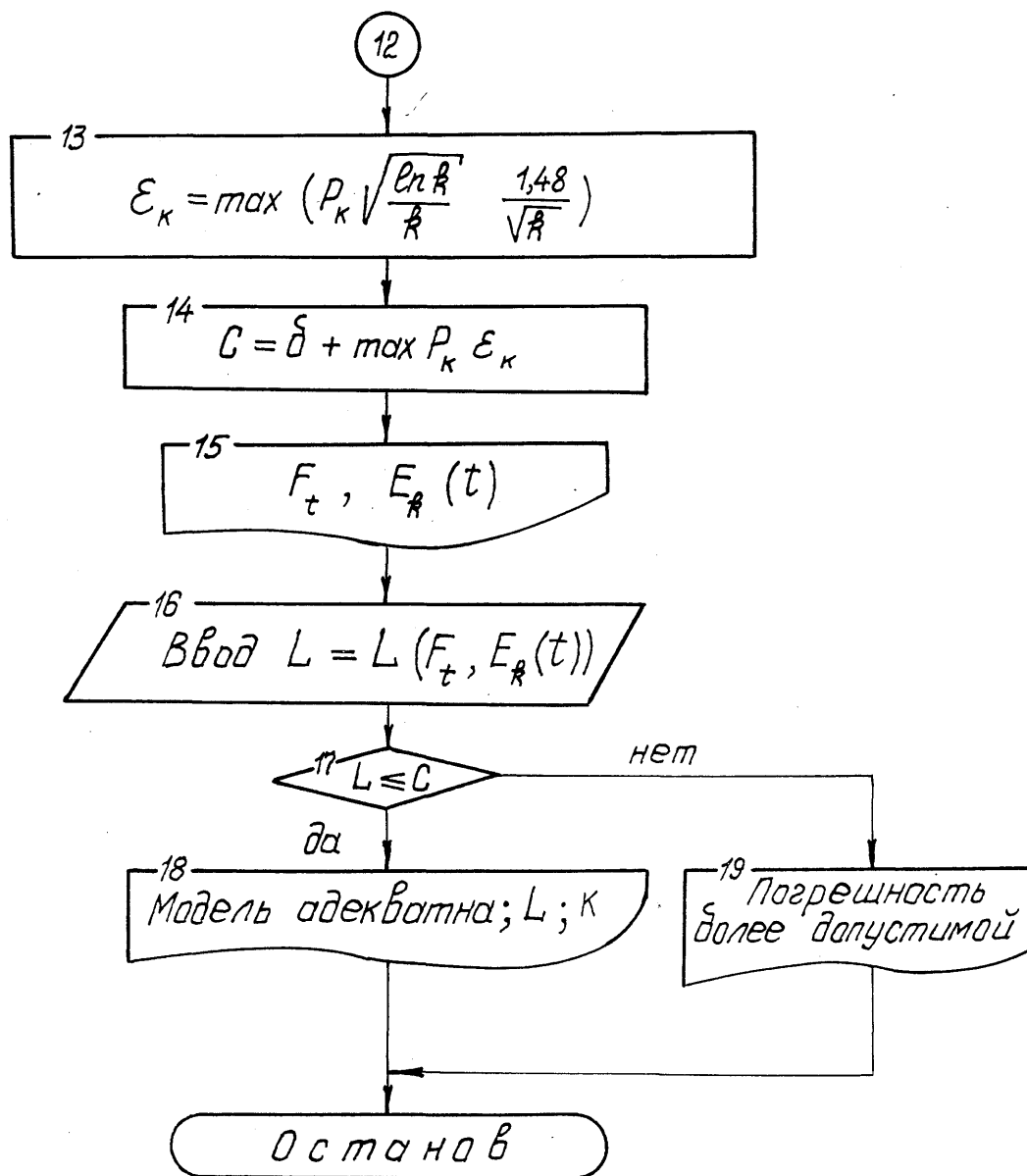
Укрупненная блок-схема программы для оценки погрешностей моделей функционирования участной ТО в ТР



12 ————— :  
 т.п. построения  $F$ ; определения  $K$  - число интервалов;  
 $\Delta t$  - длина интервала ■  $P$  - вероятности;  $\max P_k$

13

Рис. ргв



Продолжение рис. 4.26

погрешности;  $K$  - индикаторы. В блоках 2 и 4 определяются значения интенсивности входящих и обслуживающих потоков соответственно. При  $K = 0$  происходит оценка погрешности первым способом, т.е. сравниваются выходящие потоки для реальной и аппроксимирующей моделей (блок 3). Блок 5 представляет собой подпрограмму определения показателей мощности ремонтных участков в соответствии с преобразованием  $0$  для одной из предложенных моделей типа  $M/E_k/n/m$ . В зависимости от величины порядка потока Эрланга  $k$  (блоки 6,8,10) происходит вычисление значений аппроксимирующей гиперэрланговской функции для выходящих потоков (блоки 7,9,11). В блоке 12 на основании исходных данных  $t(I)$  происходит построение эмпирической функции распределения  $F_t$  и оценка необходимых параметров и моментов случайной величины  $t(I)$ . В блоках 13 и 14 рассчитываются значения универсальной оценки для метрики Леви  $L$ . В блоке 15 происходит графическое отображение в одних координатных осях аппроксимирующего гиперэрланговского распределения  $E_k(t)$  и произвольной эмпирической функции  $F_t$ . В соответствии с описанной выше схемой графически определяется расстояние между  $F_t$  и  $E_k(t)$  в терминах метрики  $L$ . В блоке 16 это значение вводится в программу и далее в блоке 17 идет сравнение  $L(F_t, E_k(t))$  с универсальной оценкой и последующие комментарии (блоки 18,19).

В соответствии со вторым способом оценки погрешности при  $K = 1$  происходит аналогичное сравнение произвольного входящего потока  $1_{mp}(1)$  с аппроксимирующим экспоненциальным распределением  $E_1(t)$  (блок 7). При этом в исходных данных (блок 1)  $t_{Mn}(I) \ll t(I)$ . Далее логика программы полностью совпадает с описанным выше алгоритмом.

На основании приведенной блок-схемы /рис.4.26/ на ПЭВМ были проведены оценки погрешности двумя способами для каждой из моделей  $M/E_2/1/6$ ,  $M/E_3/2/4$ ,  $M/E_2/3/5$ ,  $M/E_2/4/3$ .

Величина  $5$  задавалась в пределах  $0,05 - 0,07$ . Произведенные расчеты дали удовлетворительные результаты при длительности наблюдения в течение от одного

месяца до трех. Таким образом, можно считать, что величина погрешности предложенных моделей функционирования ремонтных участков локомотивов в депо порядка 5-7%, что вполне приемлемо при оценке параметров мощности.

Итак, как указано выше, вся тройка  $(B, V, 0)$ , задает модель массового обслуживания вместе с составом входных и выходных данных. При этом преобразование 0 для предложенных моделей М/Ек/п/Ш представляет достаточно громоздкий алгоритм. Учитывая это, принятые модели в процессе изучения подвергались упрощениям, связанным с необходимостью эффективного проведения численных расчетов. Как известно, наиболее простыми для практической реализации являются модели массового обслуживания только с экспоненциальными распределениями, т.е. модели типа М/М/п/Ш. Для этих моделей преобразование 0 имеет достаточно простой вид, представленный в аналитических выражениях /77,127/. Поэтому для обоснования целесообразности использования моделей М/Ек/п/Ш было проведено исследование возможных погрешностей при замене обслуживающего потока, подчиняющегося гиперэрланговским распределениям на обслуживающий поток, подчиняющийся экспоненциальному распределению /163/.

Как известно /164,165/, возможно оценить величину погрешности для одноканальной СМО с неограниченным ожиданием, возникающей при аппроксимации функций распределения входящего и обслуживающего потоков экспонентой. Так, в системе с фиксированными интервалами обслуживания аппроксимация реального входящего потока с коэффициентом вариации 0,9 показательным распределением приводит к 20% ошибке при определении средних параметров очереди по известной формуле Поллачека-Хинчина:

$$B = p + p^2(1 + u^2)/2(1-p)$$

где  $p$  - загрузка системы, а коэффициент вариации интервалов обслуживания.

При замене модели типа Е2/D/1 (коэффициент вариации  $u = 0,71$ ) на М/М/1 вычисленное среднее число требований в системе будет превосходить истинное значение примерно в 2 раза.

На рис.4.27 приведены полученные автором зависимости средней длины очереди  $\Gamma$  функции загрузки системы  $\rho$  для сравниваемых СМО М/Е2/3/5 и М/М/3/5, а также зависимость относительной погрешности  $\delta_{\Gamma}$ , возникающей при вычислении средней длины очереди  $\Gamma$  в случае аппроксимации реального потока обслуживания законом Эрланга 2-го порядка и экспоненциальным законом распределения /163/. Для СМО М/Е2/3/5 величина  $\Gamma$  оценивалась по формуле, полученной ранее на основании использования метода псевдосостояний и рассчитанная на ПЭВМ. Для СМО М/М/3/5 средняя длина очереди  $\Gamma$  рассчитывалась согласно /77,127/ по формуле:

$$\Gamma = \frac{\rho^{n+1} * P_0 \Gamma \sum_{j=1}^n \rho^j}{n * n! \sum_{j=0}^{n-1} \rho^j}$$

Диапазон изменения относительной погрешности  $\delta_{\Gamma}$  от 24,3% (при  $\rho=1$ ) до 7% (при  $\rho=3$ ) /рис.4.27/ свидетельствует о целесообразности использования модели М/Е2/3/5. В соответствии с формулой Литтла /81/, зная среднюю длину очереди  $\Gamma$  легко оценить погрешность при вычислении таких параметров мощности ремонтных участков локомотивов в депо, как среднее время ожидания локомотива в очереди  $l_{ож.}$  и среднее время пребывания в системе  $t_{спс\Gamma}$ . Таким образом, аппроксимирующая модель с использованием чисто экспоненциальных распределений была отвергнута.

При сравнении моделей М/Ек/п/Ш и М/М/п/Ш отмечено, что наличие последствия в обслуживающем потоке приводит к уменьшению таких параметров мощности системы, как средняя длина очереди  $\Gamma$ , " среднее время ожидания  $l_{ож.}$ , общее Время Пребывания ЛОКОМОТИВОВ В системе  $T_{ист.}$  и увеличению пропускной способности ремонтных участков А.

В то же время необходимо отметить, что при стремлении параметров модели М/Ек/п/Ш к некоторым предельным значениям случайные процессы, описывающие выходные данные, сходятся к предельным процессам моделей достаточно простой структуры типа М/М/п/Ш.

Зависимость средней длины очереди  $\bar{z}$  для СМО  $M/E_3/5$ ,  
 $M/M/3/5$  и относительной погрешности  $\delta$  от загрузки  
 системы  $\rho$

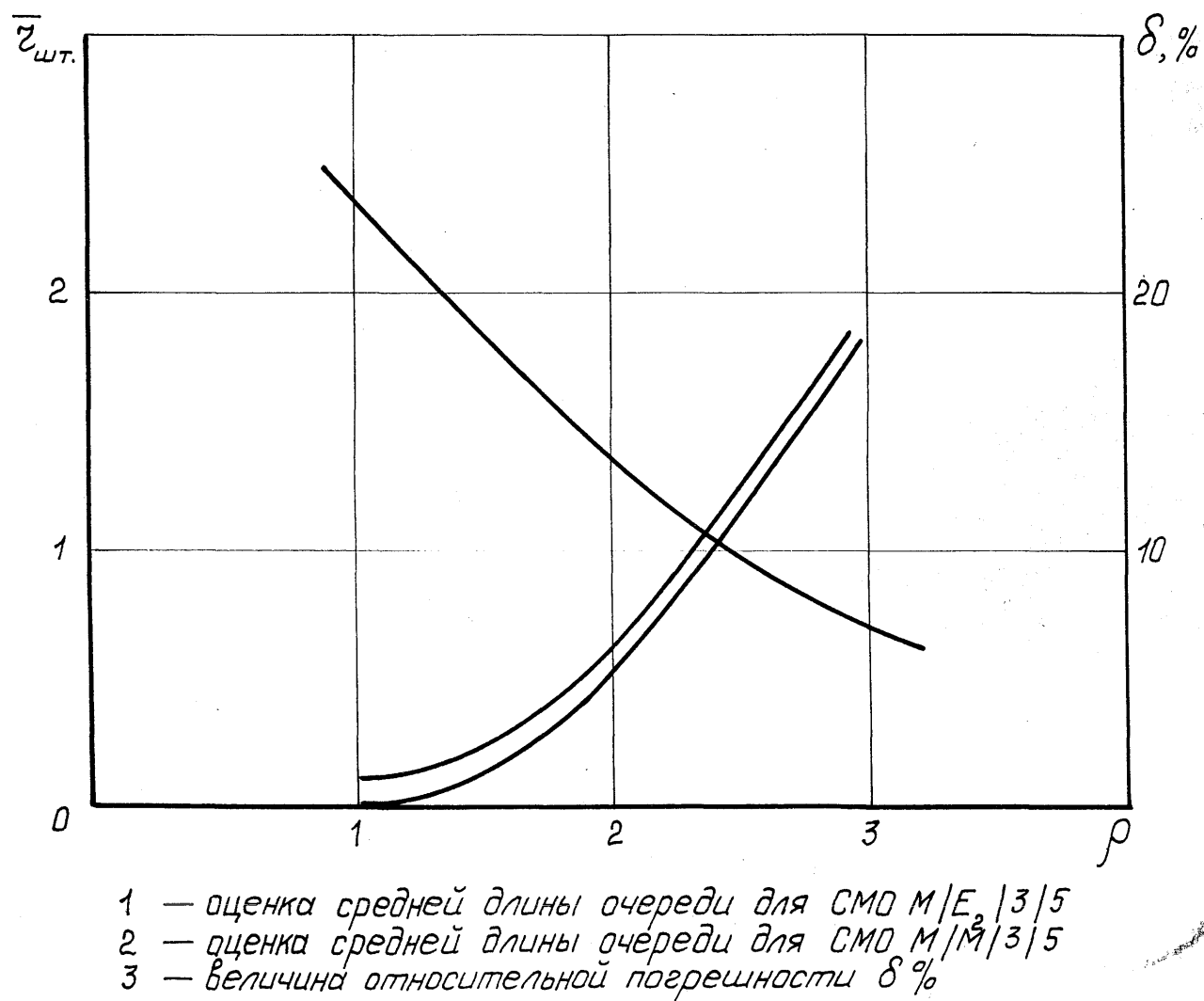


Рис. У. 27

Так, анализируя известную формулу для расчета абсолютной пропускной способности модели М/М/П/Ш [77]:

$$P_0 = \frac{\rho^{n+m}}{n!} \left( 1 + \frac{\rho}{1!} + \frac{\rho^2}{2!} + \dots + \frac{\rho/n - (\rho/n)^{m+1}}{1 - \rho/n} \cdot \frac{\rho^n}{n!} \right)^{-1}$$

при стремлении загрузки системы  $\rho \rightarrow \infty$ , получаем

$$\lim_{\rho \rightarrow \infty} P_0 = \lim_{\rho \rightarrow \infty} \left( 1 - \frac{\rho^{n+m}}{n^m * n!} \right)$$

Значение предела определяется, используя правило Лопиталья - Бернулли II + III раз.[166].

Полученный результат полностью совпадает с величиной абсолютной пропускной способности, полученной для разработанных моделей ремонтных участков в депо вида М/Ек/П/Ш для  $C = \text{const}$  при  $\rho \rightarrow \infty$  /рис.4.20/.

При стремлении загрузки системы  $\rho \rightarrow 0$  очевидно получаем

$$\lim_{\rho \rightarrow 0} P_0 = \lim_{\rho \rightarrow 0} \left( 1 - \frac{\rho^{n+m}}{n^m * n!} \right)$$

что также полностью согласуется с номограммой /рис.4.20/ при  $X = \text{const}$ .

Таким образом, получены как бы две оценки сходимости предложенных моделей М/Ек/п/т (слева и справа) к реальной модели и моделям вида М/М/п/т.

Полученные результаты при оценке погрешностей достаточно убедительно доказывают адекватность разработанных моделей исследуемому процессу функционирования участков ТО-3, ТР-1 и НР локомотивов в депо.

При этом необходимо отметить, что оценки точности расчетов при моделировании работы транспортных систем проводились до сих пор исключительно

в терминах наиболее простой инженерной метрики

X-Y /22,121/. Хотя,

как известно, это не является достаточно строгим математическим обоснованием ни действительной величины погрешности, ни тем более адекватности предлагаемых моделей, и во многих случаях вообще неприемлемо,

#### 4.4, Исследование функционирования ремонтных участков локомотивов

На основании анализа входных данных  $V \in V$  модели и преобразования  $\theta$ , можно сделать вывод, что для получения выходных данных  $V \in V$  (это показатели мощности системы участков ТО и ТР: абсолютная пропускная способность -  $A$ , средняя длина очереди -  $\Gamma$ , среднее число простаивающих стоил -  $L$ , среднее время нахождения локомотива в очереди -  $t_{05к.}$ , среднее время простоя стоил -  $t_{пр.}$ , общее время нахождения локомотива в депо от прохода через контрольный пост до выхода -  $t_{сист.}$  и др.) необходимо иметь интенсивности входящих потоков  $X \in X$  и интенсивности потоков обслуживания  $\rho \in \rho$ . Соответственно  $X$  и  $\rho$  - множества из ст-алгебры,  $(X, \rho) \in V$ . Таким образом, критерий качества управления  $D = f(k, \rho)$ .

С целью исследования условия функционирования участков ТО и ТР по предложенным критериям качества управления необходимо проанализировать характер изменения этих критериев, вскрыть природу параметров  $X$  и  $\rho$  и установить их связь с основными частичными характеристиками  $X_i(t)$ .

Проанализируем характер изменения относительного критерия качества управления  $D(t)=F(t)/F_0(t)$  в предложенных ранее его модификациях.

Одним из наиболее характерных и осязаемых показателей стабильного функционирования ремонтных участков ТО-3, ТР-1 и НР в депо является их абсолютная пропускная способность -  $A_{лок./сут.}$ . Этот технический показатель отражает как влияние внешней среды (интенсивность поступления локомотивов из

эксплуатации для проведения соответствующих видов технических обслуживания: и ремонтов), так и степень технической готовности самого локомотивного депо (оснащенность оборудованием, укомплектованность квалифицированным ремонтным персоналом, наличие запасов узлов и деталей, соблюдение технических норм и правил в технологических процессах, рационально выбранный регламент работы ремонтных бригад и др.). Пропускная способность - вообще одна из основных характеристик транспортных устройств, хотя твердоустоявшегося и общепринятого определения пропускной способности нет. На различных видах транспорта, а в пределах одного вида - для различных устройств используют неидентичные определения пропускной способности. В большинстве случаев под пропускной способностью понимают максимальное количество некоторых заявок, которое может быть обслужено за определенный период времени. Так, для железнодорожной линии под пропускной способностью иногда понимают наибольшее число пар поездов (или поездов в каждом направлении) установленной массы, которое может быть пропущено по ней в течение суток в зависимости от технической оснащенности, организации движения поездов и технологии работы /121,167/.

Как известно, правила формальной логики требуют, чтобы определение было непротиворечиво и давало принципиальную возможность в каждом конкретном случае дать количественную оценку каждого понятия и очертить сферу возможного его использования. В данной работе пропускная способность трактуется как свойство комплекса транспортных устройств (ремонтных стоек, оснащенных необходимым оборудованием и укомплектованных ремонтным персоналом), позволяющее' выполнить совокупность технологических операций в соответствии с утвержденной документацией при производстве ТО-3, ТР-1 и НР локомотивов в депо за определенный период времени. При этом понятие "максимальное" количество обслуженных заявок здесь сознательно опущено. И при проведении количественной оценки пропускной способности предполагается, что она изменяется с течением времени, т.е.  $A=A(t)$ . Таким образом, для реально-функционирующей системы ремонтных участков в депо пропускная способность отличается (она может быть меньше, равна или больше) максимально возможной и экономически целесообразной

пропускной способности в данных конкретных условиях. Достижение такой максимальной и экономически целесообразной пропускной способности возможно для системы ремонтных участков локомотивов полностью сбалансированной с потоком локомотивов, поступающих из эксплуатации для проведения ТО-3, ТР-1 и НР. Такие условия функционирования участков ТО-3, ТР-1 и НР назовем идеальными, а соответствующую ему максимальную и экономически целесообразную пропускную способность обозначим через  $A_0(t)$ . При этом  $A_0=A_0(t)$  - является функцией времени, т.е. имеется в виду, что в других условиях величина максимальной экономически обоснованной пропускной способности может быть другой. Зависимость  $A_0=A_0(t)$  изменяется скачкообразно во времени и может быть описана с помощью функции Хевисайда, в то время как зависимость  $A=A(t)$  может быть непрерывной или кусочно-непрерывной функцией.

Очевидно, что для абсолютно сбалансированной системы

$$D(t) = A(t)/A_0(t) = 1.$$

Поэтому для обеспечения эффективного и стабильного функционирования ремонтных участков ТО-3, ТР-1 и НР необходимо, чтобы  $A(t) \rightarrow A_0(t)$ , а  $D(t) \rightarrow 1$ . Мероприятия, обеспечивающие такое функционирование ремонтных

Процесс;

участков - это мероприятия, обеспечивающие  $D(t) \rightarrow 1$  при  $\forall t \rightarrow t$ , где  $t$  - конечный промежуток времени, за который реализуются данные мероприятия.

Чтобы обеспечить этот процесс необходимо изучить механизм воздействия Sv частичных характеристик  $X_i(t)$  на  $A(t)$  и оценить это влияние в явном или неявном виде, иметь возможность оценить величину допустимого отклонения  $D(t)$  от единицы, а также ввести четкое определение максимальной экономически целесообразной пропускной способности  $A_0(t)$ .

Для количественной оценки абсолютной пропускной способности в разделе 4.2 разработаны соответствующие модели, определены преобразования  $\theta$  в виде уравнений, алгоритмов и программного обеспечения, а также получены удобные номограммы /рис.4.20/. При этом рассматриваемому моменту времени (или интервалу времени) ставится в соответствие пара чисел  $X_{ij}$  соответствующих состояний

внешней среды и техническому, технологическому и организационному состоянию локомотивного депо для выполнения ТО-3, ТР-1 и НР.

Как видно из номограммы, приведенной на рис.4.20, абсолютная пропускная способность  $A$  При  $JLL = \text{const}$  ( $p = \text{const}$  - означает степень определенной технической готовности ремонтных участков депо) достигает своего максимального значения  $A_{П1,1У} = 24\text{пц}$  при  $p = \dots > П$  (в данном случае  $П = 3$ ) и остается постоянной и равной  $A(t) = 24\text{пц}$ .

При  $p < П$  ремонтные участки имеют резервы по пропускной способности, т.е. обслуживают количество локомотивов менее возможного и часть ремонтных позиций простаивают какое-то время /рис.4.24/.

При  $p > П$  пропускная способность полностью реализована с наперед заданной вероятностью  $P_3 = 0,05$ . Имеется в виду, что о максимальном количестве локомотивов, обслуженных в заданный интервал времени  $vt$ , можно говорить лишь в вероятностном смысле, т.е.

$$P(N > N^{\text{max}}) = \int_{N^{\text{max}}}^{\infty} P^*(M) c1K = P_3,$$

где  $F^{\wedge}N$ - функция распределения числа поступивших локомотивов на участки ТО-3, ТР-1 и НР.  $P_3 = 0,05$  выбрано по аналогии с техническими системами.

Анализируя номограммы для определения среднего времени ожидания локомотивами проведения ТО-3, ТР-1 и НР и количества локомотивов в очереди /рис.4.21,4.23/, видно, что при значениях  $p$  близких к  $П$  резко возрастают значения  $l_{ож}$  и  $Г$ . Анализ номограмм для определения числа свободных ремонтных стоек /рис.2.24/ показывает, что при значениях  $p < П$  значительно возрастает количество незанятых стоек  $L$ .

Для определения максимальной экономически целесообразной величины пропускной способности  $A_0$  необходимо проанализировать функцию суммарных экономических затрат  $U = C_1 Г + C_2 L$  и определить при каких значениях

абсолютной пропускной способности А эта функция достигает своего минимума для каждой из предложенных моделей ремонтных участков локомотивов в депо.

Величина  $C_1$  принимается из расчета, что в ожидании ТО-3, ТР-1 и НР локомотив простаивает и, кроме того, в зимнее время года тепловозы простаивают с работающим двигателем. Расход топлива при этом составляет 40 кг/ч. Таким образом коэффициент  $C_1$  включает амортизационные отчисления на простой локомотива и стоимость топлива. По данным депо Основа Южной ж.д. на июнь 1995г.  $C_1 = 143,35$  тыс. крб./ч.

Величина  $C_2$  принимается из расчета, что комплексная бригада для выполнения ТО-3, ТР-1 и НР состоит из 15 слесарей (из расчета на одно стойло) 4-го разряда со средневзвешенной часовой тарифной ставкой 17,68 тыс. крб./ч. Амортизационные отчисления за простой одного стойла в течение часа, незначительны и их не учитывали. Следовательно,

$$C_2 = 15 * 17,68 = 265,20 \text{ тыс. крб./ч.}$$

Данные приведены на июнь 1995 г.

На основании расчетов получены зависимости суммарных затрат  $U = C_1\Gamma + C_2L$  в функции приведенной интенсивности  $p$  и размеров эксплуатируемого парка локомотивов в депо Нэкспл /рис.4.28/ для каждой из моделей ремонтных участков: М/Е2/1/6, М/Ез/2/4, М/Е2/3/5, М/Е2/4/3. Расчеты проводились на ПЭВМ в соответствии с алгоритмом приведенным на рис. 4.19 путем добавления в него блока вычисления  $U = C_1\Gamma + C_2 L$ .

Как видно из полученных графиков /рис.4.28/ суммарные экономические издержки  $U$  для каждой модели имеют четко выраженный минимум. При  $p \rightarrow 0$  (это состояние ремонтных участков при  $\Pi = \text{const}$  соответствует отсутствию локомотивов, поступающих на ТО или ТР, и простою стойл) величина  $U \rightarrow C_2\Pi$ . При  $p \gg \Pi$  (это состояние системы при  $p = \text{const}$  соответствует занятости всех стойл и мест ожидания) величина  $U \rightarrow C^B$ .

# Функция суммарных затрат

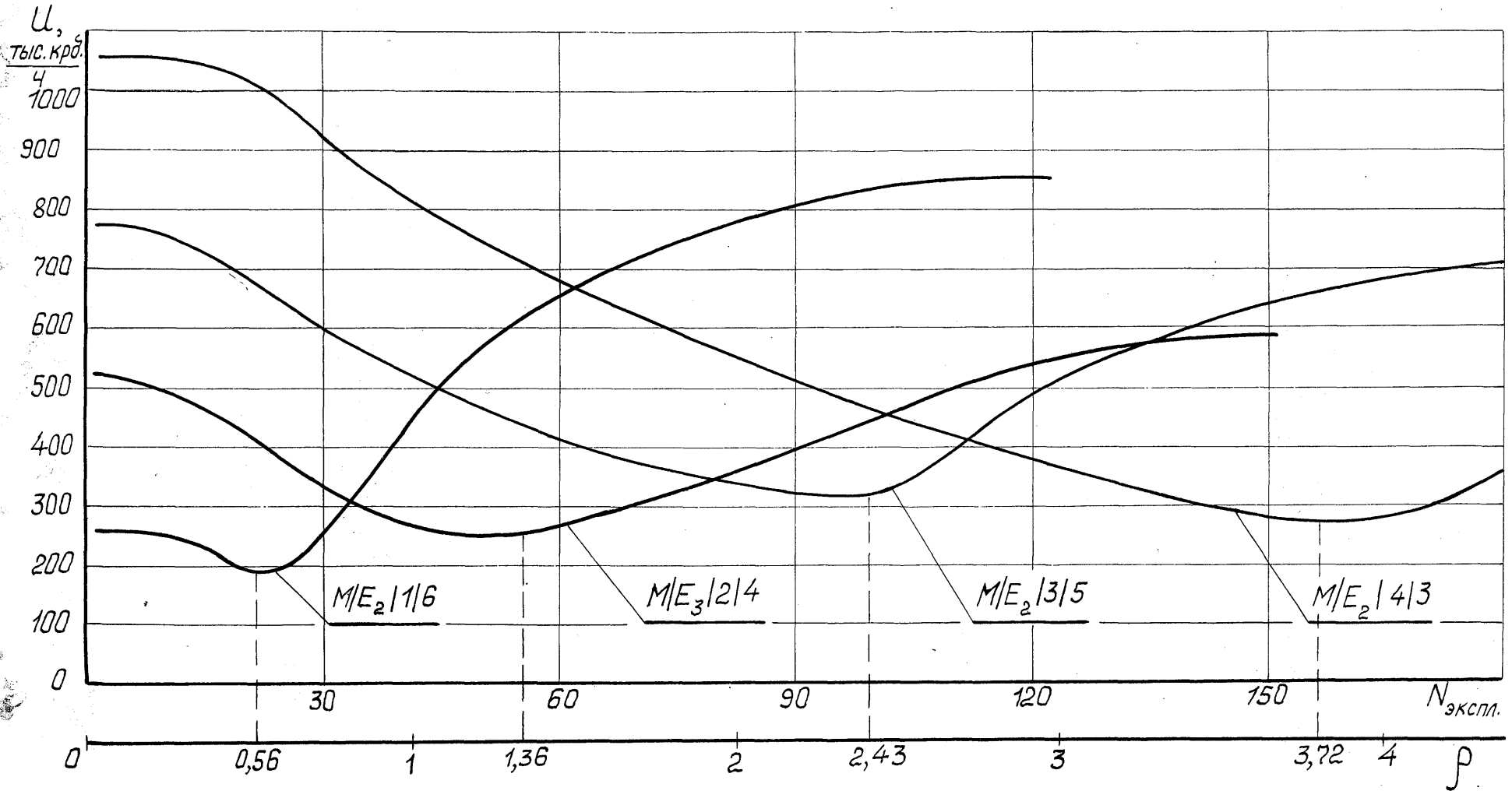


Рис. 4.28

Значение минимума функции суммарных затрат для каждой модели определяет значения  $M_{\text{эксп}}$  и  $p_0$ , которым соответствует максимальная экономически целесообразная абсолютная пропускная способность ремонтных участков  $A_0(t)$ .

Таким образом,  $A_0(t)$  - это такая величина абсолютной пропускной способности, которая достигается при определенном уровне технической готовности ремонтных участков ( $p = \text{const}$ , рис.4.20), и для которой суммарные экономические издержки от простоя локомотивов в очереди и простоя ремонтных позиций - минимальны.

Анализ функции суммарных затрат  $U = C_1r + C_2L$  показывает, что эта функция зависит только от  $p =$  , а также от величины и соотношения

коэффициентов  $C_1$  и  $C_2$ . Значения  $p = p_0$ , соответствующие минимуму функции  $U = C_1r + C_2L$ , для каждой из моделей приведены в табл.4.5 и на рис.4.28. На основании этих значений  $p_0$  и номограмм для определения абсолютной пропускной способности /рис.4.20/ получены зависимости критериев качества управления  $D=A/A_0$  в функции  $p_0$  и  $I_{\text{эксп}}$ , которые приведены на рис.4.29. При этом критерий  $D=A/A_0$  зависит только от приведенной интенсивности  $p$ , а величина  $\zeta$  не влияет на его характер. Это доказывается путем построения, а также анализа формул, приведенных в ГПДТИ. Как видно из рис.4.29,  $D = D(p)$  представляет собой

$$D = \frac{24 \cdot \zeta \cdot p}{A_0} \cdot \left( \frac{A_0}{24 \cdot \zeta \cdot p} - 1 \right) \tag{24}$$

наклонную прямую, переходящую в горизонтальную асимптоту  $D = \frac{A_0}{24 \cdot \zeta}$ .

Причем величина  $24 \cdot \zeta \cdot p / A_0 = \text{const}$  для всего семейства зависимостей  $A = A(p)$ , т.е. для различных  $\zeta$  это отношение остается постоянным.

Как указано ранее, система ремонтных участков абсолютно сбалансирована с потоком локомотивов, поступающих из эксплуатации с точки зрения функции суммарных затрат при  $D(t) = 1$ . Однако для каждой модели необходимо определить величину допустимого отклонения  $D(t)$  от 1 в пределах которого можно

Изменение критерия качества управления  $D = \frac{A}{A_0}$

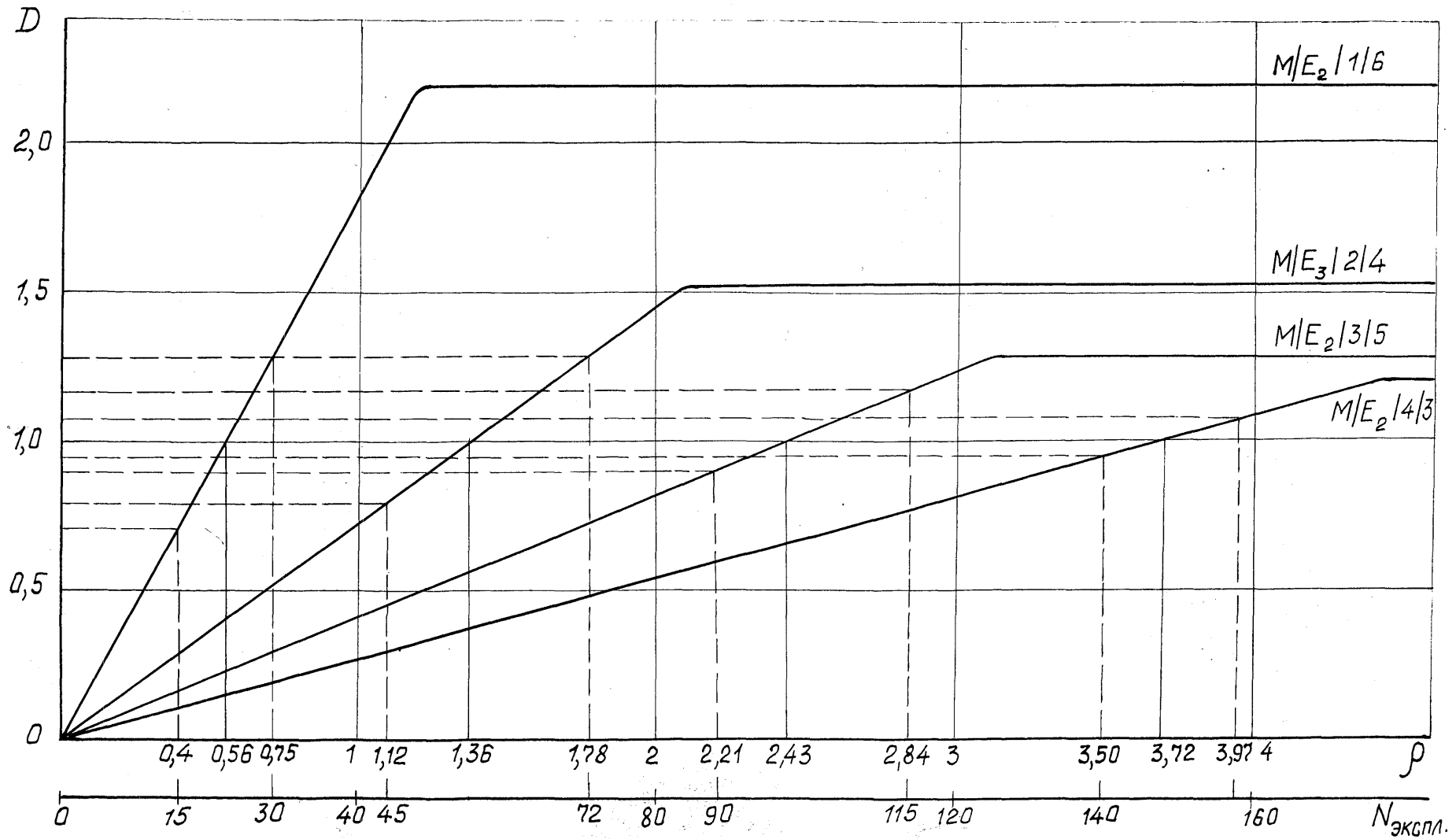


Рис. 4.29

гарантировать эффективное и стабильное функционирование участков ТО-3, ТР-1 и НР локомотивов в депо.

Анализируя номограммы для определения среднего времени ожидания в очереди для модели М/Е2/1/6 отмечено, что особенно быстро время ожидания возрастает при увеличении  $\rho$  сверх 0,75. Этот вывод подтверждается при анализе номограмм  $l_{ож.} = l_{ож.}(\rho)$  и  $\Gamma = \gamma(\rho)$  /рис. /7. Z , 4.23/ и функции суммарных затрат  $U = U(\rho)$  /рис.4.28/. Такой же вывод сделан в /121, 132/ на основании анализа формулы Хинчина для определения  $l_{ож.}$  При определении нижней границы  $\rho$ ,

Таблица 4.5

Параметры, характеризующие уровень эффективного функционирования ремонтных участков локомотивов

Параметры функционирования	Вид модели			
	М/Е2/1/6	М/Ез/2/4	М/Е2/3/5	М/Е2/4/3
$\rho_0$	0,56	1,36	2,43	3,72
Пределы изменения $\rho$ , соответствующие эффективному функционированию [ $\rho_H; \rho_B$ ]	0,40-0,75	1,12-1,78	2,21-2,84	3,50-3,97
Пределы изменения $D=A/A_0$ , соответствующие эффективному функционированию [ $D_H; D_B$ ]	0,70-1,30	0,74-1,26	0,84-1,16	0,93-1,07
Пределы изменения $N_{экспл.}$ , соответствующие эффективному функционированию [ $N_{экспл.н.}; B_{экспл. в.}$ ]	15-30	45-72	90-115	140-160
Рациональный размер парка				
$B_{экспл.}$ , ШТ	10-40	40-85	85-125	125-170

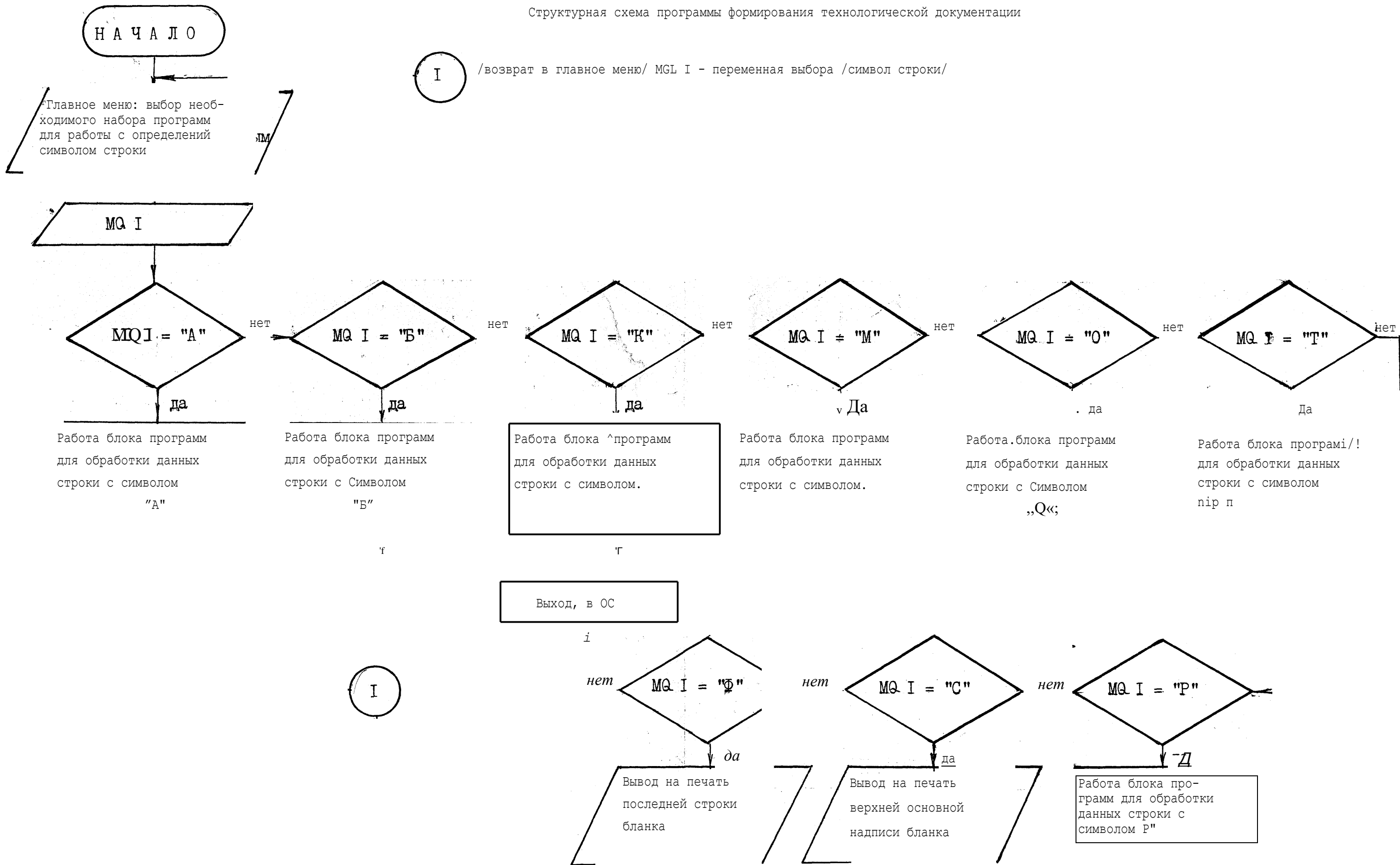


Рис. 3.25



принималось во внимание, что зависимость среднего числа простаивающих ремонтных позиций  $L = L(p)$ , особенно быстро возрастает при  $p < 0,40$  /рис.4.24/. При сопоставлении функции суммарных затрат при значениях  $p > 0,75$  и  $p < 0,40$  с реальными депоскими данными подтверждается, что интервал изменения  $P \in (0,40; 0,75)$  отвечает эффективной и экономически целесообразной работе ремонтных участков. В соответствии с рис. 4.29 этому интервалу соответствует интервал изменения  $D \in (0,70; 1,30)$ , для величины эксплуатируемого парка локомотивов этот интервал соответствует 15-30 локомотивам.

Аналогичный анализ проведен для всех предлагаемых моделей ремонтных участков. При этом отмечено, что скорость роста среднего времени ожидания в очереди и числа локомотивов в очереди несколько уменьшается по мере роста числа ремонтных позиций - п. Этот вывод сделан путем сопоставления тангенсов углов наклона касательных к указанным зависимостям при значениях  $p$  наиболее характерных для каждой модели. Путем сопоставления значений  $U = U(p)$  с реальными затратами депо это позволило несколько расширить верхнюю границу изменения  $p$  для моделей М/Ез/2/4, М/Е2/3/5 и М/Е2/4/3 в сравнении с моделью М/Е2// /6. Результаты сравнивались с реальными показателями депо Основа Южной ж.д. Полученные значения параметров, характеризующих уровень эффективного функционирования ремонтных участков для каждой модели приведены в табл.4.5.

В табл.4.5 также приведены размеры относительно рационального эксплуатируемого парка локомотивов, позволяющие перекрыть весь диапазон его изменения.

В данной модификации критерий качества управления  $D(t) = A(\%O(t))$  представляет собой технико-экономическую категорию.

Для обеспечения эффективного функционирования ремонтных участков локомотивов необходимо исследовать изменение критерия качества управления во времени, т.е. исследовать процесс  $D=D(t)$ . На рис.4.30 схематически приведен

Процесс изменения критерия качества упрощения =

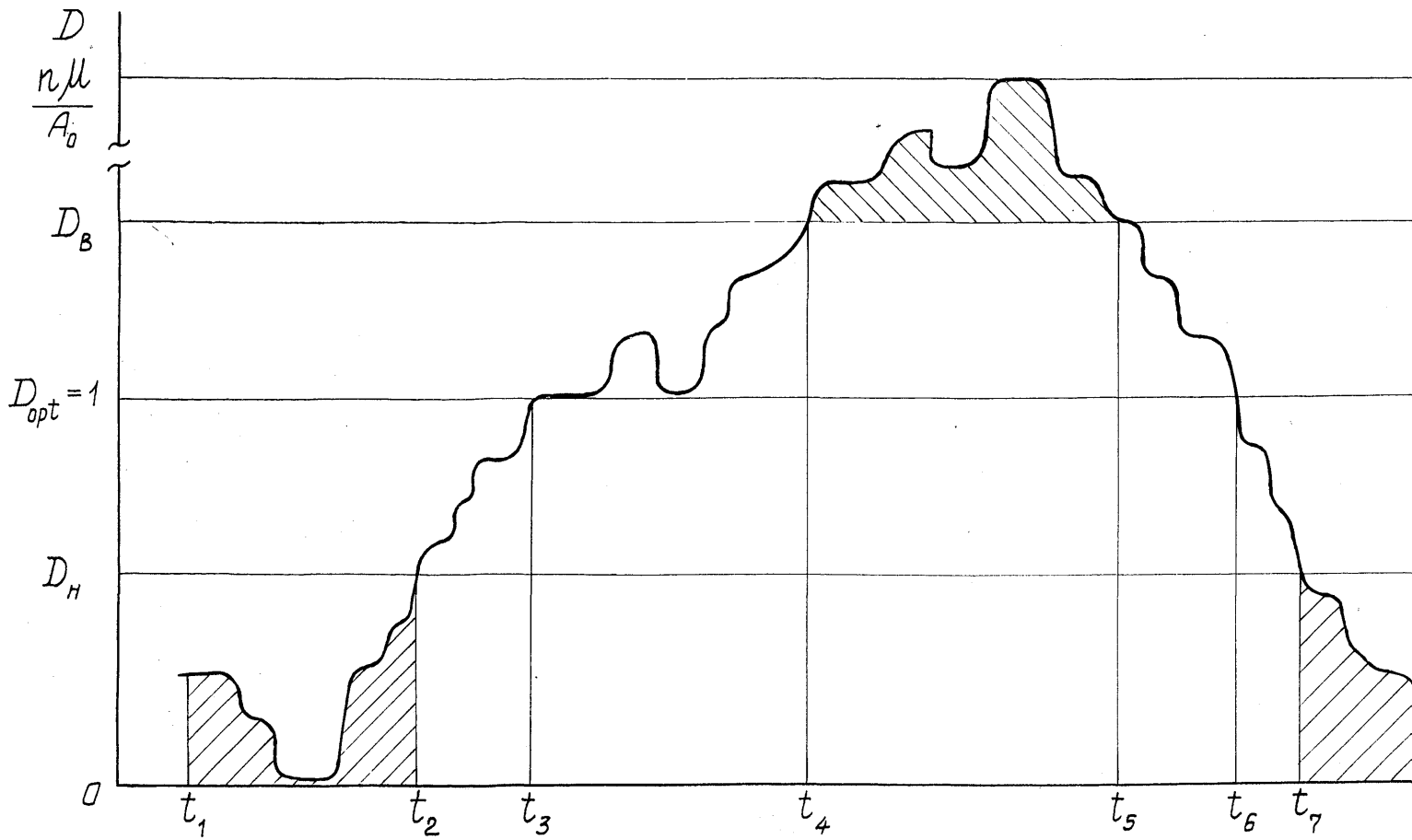


Рис. 4.30

случайный процесс  $D=D(t)=A(t)/A_0(t)$ . Согласно рис.4.30 за счет влияния различных факторов (частичных характеристик  $X_i(t)$ )  $D=D(t)$  может находиться в области эффективного функционирования  $D \in [D_H; D_B]$  в период времени  $t \in [t_2; t_4]$  или быть за ее пределами:  $D \in [D_B; 24\pi/I / A_0]$  в период времени  $t \in [t_5; t_7]$  и  $D \in (0; D_H)$  в период времени  $t \in [t_7; t_8]$ . Целесообразность принятия технических, организационных или других решений по обеспечению необходимого уровня эффективного функционирования системы обусловлена длительностью временного периода, в течение которого наблюдается выход за пределы области эффективного функционирования. При этом, если  $D \in (0; D_H)$ -идет процесс простоя числа ремонтных стоил более допустимого, а если  $D \in (D_B; 24\pi/I / A_0)$ - идет процесс простоя в очереди количества локомотивов более допустимого.

Как правило, конкретный ремонтный участок может находиться в двух состояниях:

1. В области эффективного функционирования или быть перегруженным, т.е.

$$D \in [1; 24\pi/I / A_0];$$

2. В области эффективного функционирования или быть недогруженным, т.е.

$$D \in [0; 1]$$

Для исследования поведения системы во времени целесообразно использовать интегральный относительный критерий качества управления  $\Gamma_1$ ;  $t_j = \int_0^{t_j} D(t) dt$ ;

причем  $R(t) = t$ .

Удобно интерпретировать систему, функционирующую в диапазоне  $D \in [D_H; D^*]$ , как прибыльную, причем при  $D = 1$  - прибыль максимальная, а систему функционирующую в диапазонах  $D \in (0; D_H)$  и  $D \in (D_B; 24\pi/I / A_0)$  как убыточную.

Согласно геометрическим соображениям система в 4-ом состоянии сработает за исследуемый период  $vt = t_j$  — с прибылью (эффективно), если выполняется

следующее

условие:

$$\int_{t_i}^{t_j} D(t)dt - J \int_{t_j}^{t_j} D_{opt}dt < \int_{t_j}^{t_j} D_B dt - J \int_{t_j}^{t_j} D_{opt}dt \quad /4.1/$$

или

$$\int_{t_i}^{t_j} D(t)dt < f \int_{t_i}^{t_j} D_B dt < ft \quad \delta[t_i; t_j] \leq D_B vt$$

Тогда за исследуемый период  $vt = t_j - t_i$  система во 2-м состоянии срабатывает с прибылью (эффективно), если:

$$f \int_{t_i}^{t_j} D_{opt}dt - j \int_{t_i}^{t_j} D(t)dt < \int_{t_i}^{t_j} D_{opt}dt - j \int_{t_i}^{t_j} D_H dt \quad /4.2/$$

или

$$\int_{t_i}^{t_j} D(t)dt > f \int_{t_i}^{t_j} D_H dt \quad D_H vt <$$

В соответствии с интегральным относительным критерием качества управления  $t_{jj}$  на рис. 4.30 отмечены области неэффективного (убыточного) функционирования системы. Если продолжительность периода убыточного функционирования ремонтных участков  $vt$  (периода времени, в течение которого не выполняются неравенства (4.1) или (4.2)) достаточно длительная с точки зрения экономических показателей депо, необходимо принять ряд организационных, технических или технологических мероприятий по возвращению системы в область эффективного функционирования  $D(t) \in [D_H; D_B]$ .

В соответствии с предложенными модификациями критерия проведен также анализ его изменения в форме  $D(p) = U(p) / U_0(p)$ . При этом значение  $U_0$  соответствует состоянию системы ремонтных участков, функционирующих с минимальными экономическими издержками. Т.е. согласно рис.4.28 для каждой из предложенных моделей  $U_0$  - это ордината минимума функции суммарных затрат  $U(p) = C_j T + C_2 L$ . Зависимости  $D(p) = U(p) / U_0(p)$  приведены на рис.4.31 и

Изменение критерия качества управления  $D = \frac{U}{U_0}$

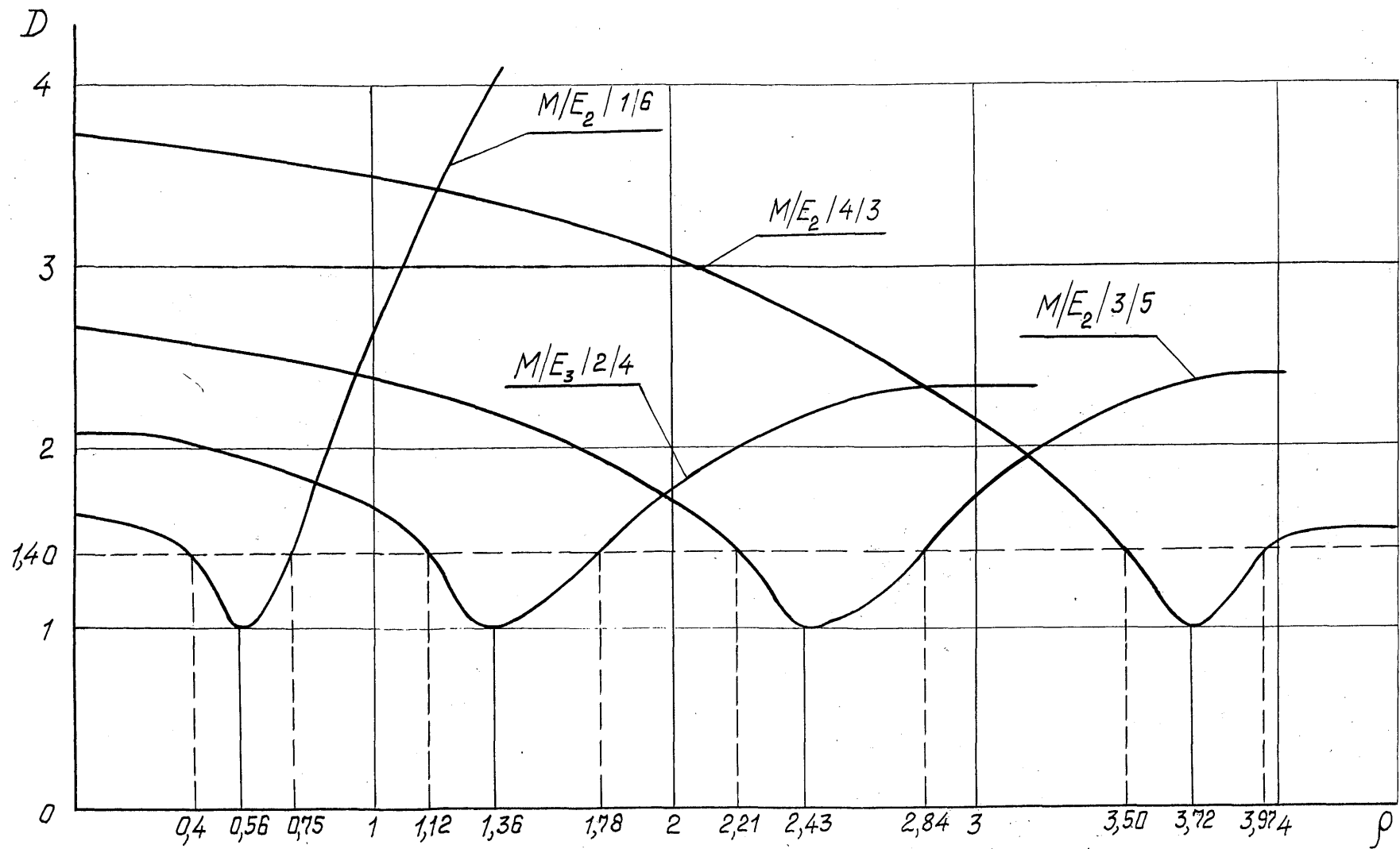


Рис. 4.31

имеют четко выраженный минимум равный 1 при значениях  $p = p_0$ , приведенных ранее табл. 4.5 для каждой из моделей. При значениях  $p < p_0$  функция

$D(p) = U(p) / U_0(p)$  монотонно возрастает и  $\lim_{p \rightarrow 0} D(p) = C_2 \Pi / U_0$ . При значениях

$p > p_0$  функция  $D(p) = U(p) / U_0(p)$  также монотонно возрастает и  $\lim_{p \rightarrow \infty} D(p) = C_{гТ} / U_0$ . Для полученных ранее пределов изменения  $p$ ,  $p \rightarrow \infty$

ограничивающих область эффективного функционирования ремонтных участков  $P \in [P_{н}, P_{в}]$  (табл.4.5), значения  $D(p_{н}) = D(p_{в}) = 1,4$ .

Таким образом, система ремонтных участков функционирует эффективно при

$$D(p) = U(p)/U_0(p) \in [1; 1,4].$$

Для анализа изменения критерия качества управления во времени на рис.4.32 схематически приведен случайный процесс  $D(t) = U(t) / U_0(t)$ . За счет влияния частичных характеристик  $X_i(t)$  процесс  $D=D(t)$  может находиться в области эффективного функционирования  $D \in [1; 1,4]$  в периоды времени  $t \in [t_2; t_2]$ ,  $t \in [t_3; t_4]$  и  $t \in [t_5; t_6]$  или быть за ее пределами:  $D \in (1,4; \max(C_{1m}/U_0; C_{2n}/U_0)]$  в период времени  $t \in (t_2; t_3)$  и  $t \in (t_4; t_5]$ . С использованием интегрального относительного критерия качества управления для системы ремонтных участков, функционирующей эффективно в период времени  $\forall t = t_j \rightarrow 1 \in$  справедливо неравенство:

$$\int_{t_j}^{t_j} D(t) dt - D_{opt} \int_{t_i}^{t_i} dt < \int_{t_i}^{t_i} D_r dt - \int_{t_i}^{t_i} D_{opt} dt \quad /4.3/$$

или 
$$\int_{t_j}^{t_j} D(t) dt < \int_{t_i}^{t_i} D_r dt - \int_{t_i}^{t_i} D_{opt} dt$$

На рис.4.32 отмечены области неэффективного (убыточного) функционирования системы. Если период  $\forall t$ , в течение которого не выполняется неравенство (4.3) достаточно длительный, то целесообразным становится проведение

Процесс изменения критерия качества управления  $D(t) = -p^{-\wedge}$

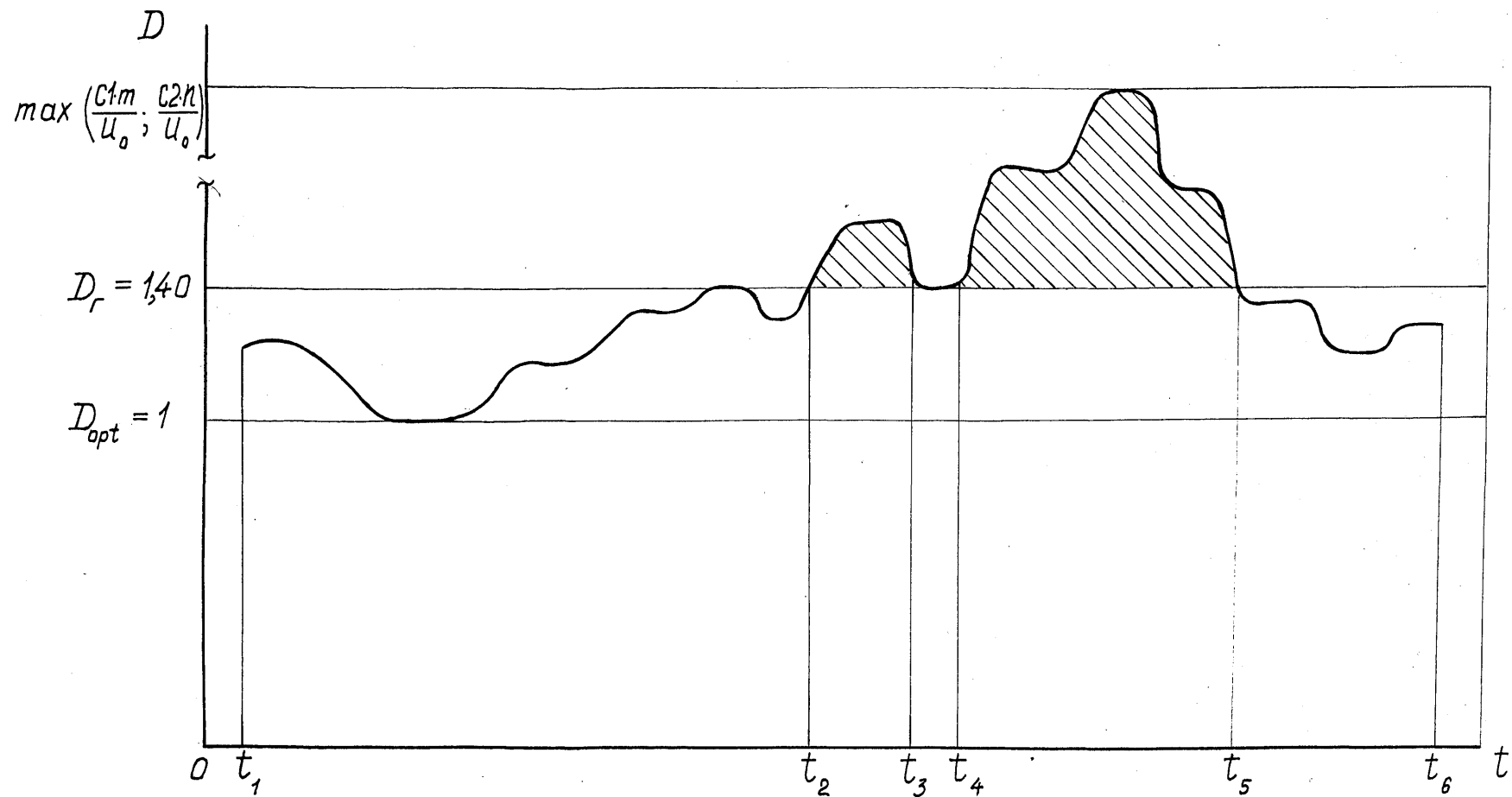


Рис. 4.5Z

мероприятий по возвращению системы в область эффективного функционирования, в которой  $D(t) \in [\text{цдо}]$ .

Области эффективного функционирования участков ТО-3, ТР-1, НР, определенные по критериям качества управления  $D(t)=A(t)/A_0(t)$  и  $D=U(t)/U_0(t)$  по сути дела определяют одну и ту же область, но в разных формах, т.к. в основе определения областей эффективности лежит одна и та же область изменения  $r_{\text{фн}}[P_{\text{в}}]$ -

Поэтому выбор критерия качества управления должен осуществляться из соображений наиболее эффективного и удобного использования статистической информации о функционировании ремонтных участков. Для выработки мероприятий по обеспечению эффективного функционирования, как указывалось ранее, необходимо вскрыть природу интенсивностей  $A$  и  $|D, (X;p)eV$ , установить их связь с частичными характеристиками  $X_i(t)$  в явном или неявном виде.

Частичными характеристиками  $X_i(t)$  являются следующие параметры, регулирующие деятельность локомотивного депо, и в частности участков ТО-3, ТР-1 и НР :

- $N_{\text{экспл.}}(1)$
- $P_{\text{отк.}}(t), A_{\text{НР}}(t), M(t)$
- $n_{\text{ПР}}(t_{\text{пер.}}, \text{Ицикл.}, \text{перечень операций ТО и ТР})$
- $P_{\text{тки}}$
- Поб.—Птехн.+ Петр.

$K$  -  $N_{\text{от.}}, \text{пбр.}, \text{режим работы}$

где в соответствии с приведенными обозначениями:

$N_{\text{экспл.}}(1)$  - размер эксплуатируемого парка;

$P_{\text{отк.}}(t), X_{\text{НР}}(1), M(t)$  - параметры эксплуатационной надежности локомотивов, соответственно : вероятность отказа локомотива, интенсивность неплановых ремонтов, средняя наработка на отказ;

$n_{\text{ПР}}(t_{\text{пер.}}, \text{Ицикл.})$  - планово-предупредительная система производства ТО и ТР,

включая периоды между проведением ТО, ТР и КР, порядок их чередования, перечень операций технологических процессов;

Птки - параметры технологичности конструкции локомотивов;

Поб.=Птсхн.+ Петр. - размеры запасов узлов и деталей, включая технологический и страховой запасы;

Нсг., пбр. - количество ремонтных позиций и ремонтных бригад.

Одной из основных характеристик локомотивного депо являются размеры инвентарного и эксплуатируемого парков, которые формируют поток локомотивов, поступающих на ТО и ТР. Традиционно парк в распоряжении депо делится на локомотивы эксплуатируемого парка; локомотивы находящиеся на ТО, ТР, КР и НР; локомотивы находящиеся в резерве управления дороги (РУД) и аренде; локомотивы находящиеся на хозяйственных и вывозных работах. Локомотивы поступают на участки ТО и ТР из эксплуатируемого парка, величина которого в свою очередь в основном определяется грузо- и пассажиропотоками. Таким образом, параметр % является функцией величины эксплуатируемого парка  $Y_{\text{экспл}}$ , т.е.  $X = X(Y_{\text{экспл}})$ .

Частота поступления на ТО и ТР определяется в свою очередь существующей где  $t_{\text{пер}}$  - период между ТО или ТР в соответствии с действующей системой ППР.

В локомотивных депо, как правило, на одних и тех же стойлах производится ТО-3, ТР-1 и НР. Неплановые ремонты (НР) характеризуют эксплуатационную надежность парка локомотивов. Учитывая, что интенсивность входного потока  $X$  является величиной аддитивной, можно записать  $X = X(Y_{\text{экспл}}, t_{\text{пер}}) + X_{\text{нр}}$ , где  $X_{\text{нр}}$  - интенсивность входного потока локомотивов, поступающих на НР.

Естественно, что  $X_{\text{нр}} = X_{\text{нр}}(Y_{\text{экспл}}, t)$ .

Т.о. интенсивность входного потока  $X$  в основном определяется размерами эксплуатируемого парка, межремонтным периодом или пробегом между ТО и ТР и параметрами эксплуатационной надежности локомотивов, т.е.  $X = X(Y_{\text{экспл}}, t_{\text{пер}}, t)$ .

Для установления зависимости  $\lambda = X(\text{Бэкспл}, t_{\text{пер}}, t)$  в явном виде следует учитывать, что величина интенсивности заходов локомотивов на участки ТО-3, ТР-1, НР представляет собой величину обратную математическому ожиданию времени между двумя последовательными проходами локомотивов через контрольный пост депо при заходе на ТО-3, ТР-1, НР. Величину можно выразить двумя способами:

$$\lambda(t) = \frac{N_{\text{ЭК СПЛ}}(0)}{t_{\text{пер}}} + \frac{N_{\text{ЭК СПЛ}}(t)}{T_{\text{ТР-2}}} + \frac{N_{\text{ЭК СПЛ}}(t)}{T_{\text{ТР-3}}} + \frac{N_{\text{ЭК СПЛ}}(t)}{T_{\text{КР-1}}} + \frac{N_{\text{ЭК СПЛ}}(t)}{T_{\text{КР-2}}} + \lambda_{\text{НР}}$$

Учитывая, что  $T_{\text{ТР-2}} = k_1 \cdot t_{\text{пер}}$ ,  $T_{\text{ТР-3}} = k_2 \cdot t_{\text{пер}}$ ,  $T_{\text{КР-1}} = k_3 \cdot t_{\text{пер}}$ ,  $T_{\text{КР-2}} = k_4 \cdot t_{\text{пер}}$ , запишем:  
 где  $k_1, k_2, k_3, k_4$  - соответствующие кратности.

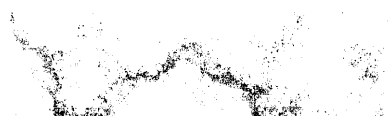
Т.е.  $\lambda(t) = \frac{N_{\text{ЭК СПЛ}}(0)}{t_{\text{пер}}} + \frac{N_{\text{ЭК СПЛ}}(t)}{t_{\text{пер}}} \cdot \left( \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \frac{1}{k_4} \right) + \lambda_{\text{НР}}$

С учетом принятых обозначений на интенсивность % оказывают влияние следующие параметры:

- Бэкспл. (t)
- $P_{\text{ОТК}}(t), \% \text{ НР}(t), M(t)$
- $t_{\text{пер}}$ .

Величина Бэкспл. (t) является как бы внешним фактором (параметром), определяемым размерами грузо- и пассажиропотоков, на который локомотивное депо непосредственное влияние не оказывает. Однако в условиях переменного грузопотока необходимо иметь возможность оценивать потенциальное количество ТО и ТР, которые необходимо выполнить на ремонтных позициях.

Система ППР, в соответствие с которой выбираются межремонтные периоды  $t_{\text{пер}}$ , является базовым элементом в обеспечении работоспособности локомотивов эксплуатируемого парка. Именно она призвана снижать темпы физического износа локомотивов с таким расчетом, чтобы обеспечить устойчивую работу парка в период



нормативного срока службы локомотивов. Основой системы является планово-предупредительный принцип производства ремонтов и технических обслуживания, который хорошо зарекомендовал себя как на отечественных, так и на зарубежных дорогах. Преимущество такого подхода - возможность заранее планировать потребность ремонтной базы, расходы трудовых, материальных и финансовых ресурсов в соответствии с нормативными документами, определяющими периодичность проведения плановых видов ремонта. Формирование системы ТО и ТР сложный и длительный процесс. Для локомотивов оптимальную продолжительность межремонтных периодов  $t_{пер.}$ , как отмечено ранее в разделе 3, целесообразно определять с использованием технических и экономических критериев. По техническому критерию (предельный износ, коррозия, повреждения базовых узлов и частей локомотивов) устанавливается ограничение по максимальной допустимой продолжительности работы локомотивов из условия полного обеспечения безопасности движения поездов. По критерию экономичности целесообразно определять конкретное значение продолжительности межремонтных периодов и циклов, удовлетворяющее условию минимизации затрат на ТО и ТР, включая неплановые ремонты, проведение которых носит вероятностный характер. Если получается результат превышающий ограничение по критерию безопасности, то продолжительность межремонтного периода принимается равной этому ограничению. Оптимальная система проведения ТО и ТР обуславливает максимальную эксплуатационную надежность локомотивного парка (оптимальные значения  $P_{отк.}(t)$ ,  $\%N_p(t)$ ,  $M(t)$ ).

Интенсивность обслуживающего потока локомотивов  $\lambda = 1/t_{обсл.}$  (математическое ожидание времени простоя локомотива на стойле) в значительной степени определяется объемами выполняемых ТО и ТР и порядком их чередования, а также количеством оборудованных ремонтных стоек и бригад и режимом их работы; наличием соответствующего запаса узлов и деталей, заменяемых при выполнении ТО, ТР и НР и параметрами технологичности конструкции локомотивов (ТКИ).

Объемы выполняемых ТО и ТР и порядок их чередования обусловлены системой планово-предупредительных обслуживаний и ремонтов. Перечень работ,

выполняемых на ТО и ТР, должен быть отражен в технологической документации. Обслуживание и ремонт локомотивов осуществляется при одновременном проведении периодической замены части недолговечных конструктивных элементов как в сроки, совпадающие с ремонтом локомотивов, так в сроки, не совпадающие с их ремонтом. Для этих целей в депо должен существовать оборотный запас узлов и деталей, который состоит из технологического и страхового. Трудоемкость проведения ТО, ТР и НР безусловно зависит и от совокупности свойств локомотива, определяющих его приспособленность к проведению обслуживаний и ремонтов, т.е. от технологичности его конструкции, которая закладывается на стадии проектирования и изготовления.

Тогда с учетом принятых обозначений на интенсивность  $\rho$  оказывают влияние следующие параметры:

$$LL = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \rho_i}{I \cdot N_{СТ.} \cdot \text{пбр.} \cdot \text{режим работы}} \cdot \text{Птки}$$

$\tau_i$  - перечень операций ТО и ТР;  
 $\rho_i$  - Поб.=Птехн.+ Петр.

Причем эта зависимость очевидно имеет локальный минимум. Т.е. при выполнении необходимого перечня операций за счет оптимально подобранного количества оборудованных ремонтных позиций с бригадами, размера запасов узлов и деталей, режима работы и других факторов время простоя локомотива на стойле может быть минимальным при качественном выполнении ТО и ТР. Это способствует более полному использованию производственной мощности ремонтных участков локомотивов в депо.

Такие подсистемы, как размер запасов узлов и деталей локомотивов  $\Pi_{об}$ , количество используемых стоек и комплексных бригад ремонтников  $N_{СТ.}$ , пбр. являются внутренними факторами для депо. При принятой системе ТО и ТР (включая перечень операций) интенсивность  $\rho$  целесообразно максимально увеличить и соответственно оптимизировать показатели мощности ремонтных участков за счет оптимизации указанных внутренних факторов.

При этом необходимо иметь возможность оценить влияние параметров ТКИ (они характеризуют серию ремонтируемого локомотива) на величину интенсивности  $\rho$ . Это особенно важно при замене в депо локомотивов эксплуатируемого парка другими сериями.

Таким образом, критерий качества управления  $D(t)$  связан с параметрами  $X_i(t)$ , обуславливающими функционирование ремонтных участков локомотивов, через интенсивности  $X$  и  $\rho$ . На уровне депо в основном могут осуществляться мероприятия влияющие на интенсивность обслуживания  $\rho$ .

Формально задача обеспечения эффективного функционирования ремонтных участков сводится к обеспечению условий, при которых  $\rho \in [\rho_{н}; \rho_{в}]$ . На величину  $\rho$  на уровне депо оказывается влияние через интенсивность  $\rho = \rho(t)$ .

Интенсивность  $\rho = X(t)$  в значительной степени является независимой величиной.

Используя принцип системного анализа, для обеспечения процесса эффективного функционирования системы ремонтных участков целесообразно провести оптимизацию составляющих подсистем [168-177].

Таким образом, в данной главе разработана экономико-математическая модель для решения задачи обеспечения эффективного функционирования участков ТО и ТР локомотивов в депо. Данная модель раскрывает природу эффективности применительно к ремонтным участкам локомотивов с точки зрения экономической целесообразности. Предложенная модель позволяет численно определить границы эффективного функционирования и вскрыть рычаги воздействия по обеспечению оптимального управления этим процессом. Для реального обеспечения процесса эффективного функционирования, согласно принципам системного анализа, необходимо иметь в наличии или разработать следующие методики для оптимизации основных подсистем -  $X_i(t)$ :

- методика формирования оптимальной системы цикличности и периодичности ТО и ТР локомотивов с определением оптимального перечня работ на ТО и ТР по

отдельным узлам, которая при максимальной надежности обеспечивает минимум затрат (материальных, финансовых и других);

- методика определения оптимальных размеров технологических и страховых запасов деталей, узлов и агрегатов локомотивов, обеспечивающих минимальные экономические издержки;

- методика, позволяющая спрогнозировать и оценить количество ТО и ТР, которые необходимо выполнить на ремонтных позициях в условиях переменного грузопотока и, как следствие, выбрать оптимальное количество стойл и ремонтных бригад;

- методика, позволяющая оценить влияние параметров технологичности конструкции локомотивов на интенсивность их обслуживания на ремонтных позициях, и как следствие на эффективность функционирования участков ТО и ТР.

## **5. АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ВРЕМЯ ПРОСТОЯ ЛОКОМОТИВОВ НА РЕМОНТНОЙ ПОЗИЦИИ**

### **5. Е Оптимизация размеров запасов узлов и агрегатов локомотивов в депо**

Для обеспечения эффективной и устойчивой работы и повышения производительности участков и цехов ТО и ТР в локомотивных депо создаются оборотные фонды агрегатов, узлов и деталей за счет приобретения новых и ремонта снятых с локомотивов.

В определенных границах размеры оборотных запасов узлов и агрегатов локомотивов являются управляемыми параметрами на уровне локомотивного депо. С точки зрения сокращения времени простоя локомотива на ремонтной позиции при проведении ТО, ТР и НР (увеличения интенсивности обслуживания  $p$ .) полная или 100% обеспеченность оборотным фондом играет решающую роль, особенно в условиях недостаточной мощности при  $p > p_0$ . Соответственно предложенные критерии качества управления  $D = D(t)$  особенно чувствительны к этому параметру при  $p > p_b$  (рис. 4.29, 4.31). Поэтому полная обеспеченность оборотными запасами узлов, агрегатов и деталей является существенным фактором по обеспечению устойчивого функционирования системы "локомотивный парк в распоряжении депо - участки ТО и ТР".

От обеспеченности оборотными запасами во многом зависит ритмичность производственного процесса ТО и ТР. Вместе с тем не менее важна всемерная экономия материальных ресурсов. В условиях перехода депо на хозяйственные методы расчета возникает необходимость оценки целесообразности хранения таких значительных материальных ресурсов, как оборотные запасы. Оптимальные размеры этих запасов позволяют экономно расходовать материальные средства предприятия при обеспечении надежной работы локомотивов и бесперебойной работы ремонтных цехов, так как позволяют сократить размеры затрат от хранения и от связывания

оборотных средств в запасах. Поэтому необходимо определить возможные резервы сокращения оборотных запасов без ущерба функционирования участков и цехов ТО, ТР и НР. То есть, задача выбора необходимых запасов имеет альтернативный характер и должна решаться оптимизационными методами.

В процессах организации и создания оборотных запасов значительную роль играют вероятностные аспекты, обусловленные влиянием надежностных характеристик и организационных моментов, связанных с формированием запасов. С учетом этого существующие детерминированные методы расчета [5] оборотных запасов слабо увязаны с реальными условиями организации ремонтов. Как уже было отмечено, в условиях рыночной экономики для депо целесообразным становится содержать экономически и технологически обоснованный запас узлов и агрегатов локомотивов. Поэтому необходима методика моделирования и расчета оборотных запасов, адекватная реальным условиям организации ремонта.

Оборотный запас  $P_{об}$  состоит из технологического  $P_{техн}$  и страхового  $P_{стр}$

$$P_{об} = P_{техн} + P_{стр} \quad (5.1)$$

Технологический запас  $P_{техн}$  определяется требованиями технологического процесса и программой ремонта. Особенно важно создание необходимого технологического запаса при производстве ТР-3 локомотивов крупноагрегатным методом. Страховой запас необходим для замены агрегатов на неплановых ремонтах и сверхцикловых работах на ТО и ТР, агрегатов подлежащих восстановлению или требующих времени восстановления больше нормативного.

Анализируя формулу /5.1/ необходимо отметить, что слагаемое  $P_{стр}$  носит вероятностный характер, а слагаемое  $P_{техн}$  достаточно точно описывается детерминированными методами.

В настоящее время наиболее прогрессивным видом ремонта в объеме ТР-3 является крупноагрегатный метод ремонта. Он применяется, как правило, во всех локомотивных депо, производящих ТР-3 тепловозов и электровозов. Сущность его заключается в том, что с локомотивов, поступивших в депо на ТР-3, снимаются основные крупные агрегаты (дизели, тележки, ТЭД и др.) на ремонт, а взамен их на

локомотив устанавливаются агрегаты, заранее отремонтированные. Поэтому для осуществления крупноагрегатного метода на ТР-3 в депо необходимо иметь технологический запас основных агрегатов.

Технологический запас агрегатов определяется по формуле [5]:

$$Z_{\text{тех}} = \frac{T_{\text{рема}}}{\Phi_{\text{год}}} \left( 2 \pm \frac{T_{\text{отса}}}{X} \cdot M \cdot \Pi \right) \quad (5.2)$$

где  $T_{\text{рема}}$  - время ремонта комплекта агрегатов в объеме ТР-3 в депо с учетом

возможного отклонения от нормы (сут.,ч.);

$T_{\text{отса}}$  - время отсутствия агрегата (комплекта агрегатов) на локомотиве, т.е.

время с момента снятия агрегата (комплекта агрегатов) с тепловоза до

момента его постановки на этот же локомотив в соответствии с

графиком технологического процесса, (сут.ч.);

$M_{\text{год}}$  - годовая программа ремонта локомотивов в объеме ТР-3, (сек.);

$t_a$  - количество одноименных агрегатов на секции локомотива, (шт.);

$\Phi_{\text{год}}$  - годовой фонд работы цеха, (сут.,ч.);

$X_a$  - число, дополняющее размер запаса до ближайшего большего целого числа.

Для расчета технологического запаса любого комплекта агрегатов локомотива разработана универсальная номограмма, которая приведена на рис.5.1 и в /178/.

Методика построения этой номограммы заключается в следующем.

В формуле /5.2/ для параметра  $T_{\text{рема}}$  принимается максимальное время ремонта комплекта агрегатов. В данной номограмме  $T_{\text{рема}}$  принято 14 суток. Фактически в депо простой агрегатов в ремонте на ТР-3 будет значительно меньше. Так, в локомотивном депо Гребенка Южной ж.д. максимальный простой в ремонте дизеля Д49 составляет 4,5 суток.

Время отсутствия агрегатов или комплекта агрегатов  $T_{\text{отса}}$  будет изменяться в пределах от 0 до 14 суток. С учетом этого параметр  $vT = T_{\text{рема}} - T_{\text{отса}}$  будет изменяться также в пределах от 0 до 14 суток.

---йЖЪ? . ■

■' .

аС, ■' (

2.

v "

На рис. 5.1 приведена номограмма зависимостей  $P_{\text{техн}} = \alpha M_{\text{год}}$  при двухсменной работе цеха ТР-3, продолжительности каждой смены - 8,2 часа, а также при существующих количествах праздничных и выходных дней (41 часовая рабочая неделя,  $\Phi_{10д} = 4133,2$  часа).

Преимущества использования номограммы проиллюстрированы при определении технологического запаса тележек при производстве ТР-3 тепловозам 2ТЭ116 в депо Гребенка Южной ж.д., при этом время ремонта тележек (комплект состоит из 2 штук) - составляет  $T_a = 1,9$  сут., время отсутствия тележек -  $T_{\text{отса}} = 0,06$  сут.,

$$vT = 1,9 - 0,06 = 1,84 \text{ сут.}$$

Годовая программа ремонта -  $M_{\text{год}} = 128$  секций тепловозов. Для  $vT = 1,84$  сут. строим на номограмме промежуточную зависимость  $P_{\text{техн}} = f(M_{\text{год}})$ , далее по этой зависимости для  $M_{\text{год}} = 128$  секций определяем, что в технологическом запасе необходимо иметь один комплект тележек, т.е. две тележки.

Таким образом, можно определить технологический запас для любых агрегатов, разных серий локомотивов в условиях организации ремонта различных депо.

На основании данных, собранных в депо Гребенка Южной ж.д. и графиков технологических процессов ремонта основных агрегатов в объеме ТР-3 для тепловозов 2ТЭ116 получены номограммы определения технологических запасов основных узлов и агрегатов.

Если в депо выполняется несколько различных видов ремонта локомотивов (например ТР-2, ТР-3), то агрегаты (узлы, детали), снятые при одном виде ремонта, могут устанавливаться на локомотив, который находится в другом виде ремонта.

Тогда технологический запас целесообразно, определять по формуле [5]:

$$P_{\text{техн}}^{\text{год}} = \frac{t_a \cdot M_{\text{ТР-3}} \cdot \tau_{\text{ТР-3}} + M_{\text{ТР-2}} \cdot Z_{\text{ТР-2}} \cdot \tau_{\text{ТР-2}}}{U^{\text{рем}} \cdot \Phi_{\text{рем}} \cdot U^{\text{отса}} \cdot \Phi_{\text{отса}}} \quad (5.3)$$

где  $M^{\text{ТР-3}}$ ,  $M^{\text{ТР-2}}$  - соответственно годовые программы ТР-3 и ТР-2;

Номограмма определения технологического запаса, агрегатов тепловозов  
на ТР-3 в локомотивном депо

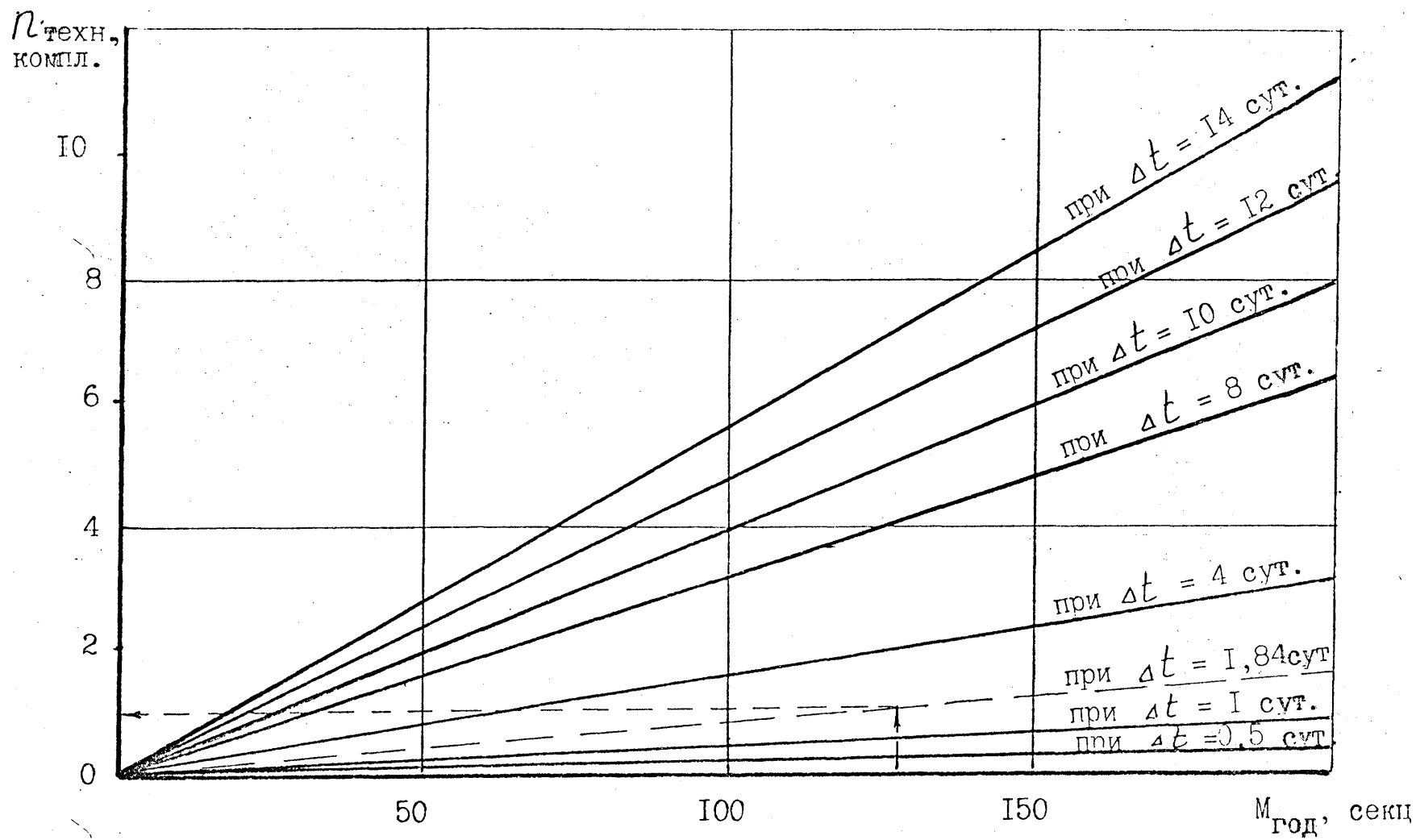


Рис ЛІ

Тема 5 " продолжительность ремонтов агрегата (узла, детали)  
соответственно при ТР-3 и ТР-2;

Итого ? ктса " продолжительность отсутствия данного агрегата (узла, детали) на  
локомотиве согласно графику технологического процесса  
соответственно при ТР-3 и ТР-2.

Однако непосредственный анализ процесса формирования технологического запаса в депо показывает, что часть агрегатов, снятых на ТР-3 локомотивов, могут иметь срок службы, соответствующий проведению им капитальных ремонтов КР-1 и КР-2 в условиях специализированных ремонтных предприятий. В соответствии с этим продолжительность ремонта  $T_{\text{рема}}$  таких агрегатов должна включать продолжительность накопления партий отправки на ремонтные заводы и продолжительность доставки на них и обратно, что не отражено в формулах (5.2) и (5.3).

Учитывая это, в данной работе предлагается определять размер технологического запаса по следующей формуле:

$$\Pi = h \cdot N_{\text{техн}} \cdot \Lambda_{\text{р ЛД}}$$

где  $N_{\text{техн}}$  - количество данных агрегатов на локомотивах в депо, (шт.);

$h_{\text{р}}$  - норматив потребности в технологическом запасе, определяемый в процентах от работающих агрегатов данного типа.

$$h_{\text{р}} = \frac{I_{\text{гр}} \cdot 100}{T_{\text{рм}}} \quad (54)$$

где  $T_{\text{рм}}$  - суммарная продолжительность целодневных простоев агрегатов данного вида в плановых ремонтах за ремонтный цикл в соответствии с нормативами системы ТО и ТР с учетом времени накопления и доставки агрегатов на специализированные ремонтные предприятия, (сут.);

$T_{\text{рм}}$  - продолжительность ремонтного цикла капитального ремонта КР-2  
данного агрегата (сут.)

Суммарную продолжительность простоев  $T_{р\epsilon\text{ма}}$  на плановых ремонтах

определим как:

$$T'_{р\epsilon\text{ма}} = K_{тр.3} * T_{тр.3} + K_{км} * T_{рX} + T_{рX}^2 + (K_{кр4+1}) * (T_{накп} + T_{дост}) * a_{01}, \quad (5.5)$$

—, ТР Ч —, ТЗр 1 гт-іТТР ?

«Трема» Трема > Тремя » Нормативные ПрОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ТР-3, КР-1 И КР-2

данного агрегата, (сут.);

$K_{тр.3}$ , - нормативное количество ТР-3, КР-1 между КР-2 данного агрегата, (шт.);

$OS_{от}$  - доля агрегатов в соответствии с достигнутым нормативным пробегом, отправляемых на заводской ремонт из депо;

$T_{дост}$  - продолжительность доставки агрегатов на завод и обратно, (сут.);

$T_{накп j}$  - продолжительность накопления партии отправки агрегатов с ТР-3 локомотивов на заводской ремонт, (сут).

Продолжительность накопления партии отправки агрегатов с ТР-3 локомотивов для отправки на заводской ремонт определим как

$$T_{накп ту-}^{ТР-3 от} = \frac{O_{п}}{O_{п} - T_{кр-2 p}} * T_{с} < 4$$

где  $O_{п}$  - величина партии агрегатов данного типа, устанавливаемых для отправки на завод на одной платформе или другом виде транспорта, (шт.);

$T_{кр-2}$  - нормативный период работы агрегата до КР-2, (сут.).

Если же принять, что все агрегаты данного вида, которым в соответствии с достигнутым нормативным пробегом необходимо выполнять КР-1 и КР-2, отправляются на ремонтные заводы, а на специализированных ремонтных предприятиях имеется обменный фонд, то слагаемые  $K_{кр-1} * T_a^{\wedge}$  и  $T_a^{\wedge}$  в формуле (5.5) обращаются в нуль и коэффициент  $OS_{от} = 1$  при расчете  $\Pi_{техн}$  для депо. Тогда формула (5.5) для определения  $T_{р\epsilon\text{ма}}$  приобретает вид:

$$T_{\text{рема}} = K_{\text{тр.з}} * T_{\text{рема}} + (K_{\text{кр.1}} + 1) * (T_{\text{накп}} + T_{\text{до с т}}) \quad (5.7)$$

Использование такого подхода для определения размеров технологического запаса  $P_{\text{техн}}$  не исключает использование номограммы, приведенной на рис.5.1. Однако при определении параметра  $\nu T$  время ремонта агрегата  $T_{\text{рема}}$  должно помимо времени ремонта агрегата в объеме ТР-3 включать и долю времени накопления партии для отправки агрегатов на ремонтный завод и доставки туда и обратно. С учетом изложенных соображений  $T_{\text{рема}}$  следует рассчитывать в соответствии с формулой :

$$T_{\text{рема}} = T_{\text{рема}} / (X_{\text{тр.з}} + 1) \quad (5.8)$$

В условиях переменного грузо- и пассажиропотоков естественно будет меняться и количество ТО, ТР и КР локомотивов. С учетом этого для определения  $P_{\text{техн}}$  следует выбирать расчетный период времени, в течение которого грузо- и пассажиропотоки остаются относительно стабильными, а не ориентироваться на годовой фонд времени. Страховой запас  $P_{\text{стр}}$  узлов и агрегатов в депо в настоящее время в соответствии с [5] определяется из выражения :

$$P_{\text{стр}} = a * t_a * M_p * T_{\text{отса}} / \Phi_p \quad (5.9)$$

где  $a$  - коэффициент сменяемости агрегатов (узлов, деталей), необходимых для неплановых ремонтов, не подлежащих восстановлению или требующих для ремонта повышенного времени;

$M_p$  - количество одновременно параллельно ремонтируемых локомотивов, (шт.);

$\Phi_p$  - фонд времени за расчетный период, (сут.).

Приведенная формула /5.9/ практически не учитывает вероятностных аспектов в процессе формирования страхового запаса и слабо увязана с реальными условиями организации ремонта, поэтому не позволяет достаточно точно оценить действительно необходимый страховой запас узлов, агрегатов и деталей локомотивов в депо.

С учетом этих соображений разработана методика определения страхового запаса, базирующаяся на принципиально другом подходе [179].

Исходными данными для расчета нормативов страхового запаса являются продолжительность простоев агрегата при выполнении неплановых ремонтов из-за отказов, без учета простоев из-за нарушения правил технической эксплуатации агрегата и средняя периодичность отказов.

Вероятность выхода из строя одного агрегата целесообразно рассчитывать, как частное от деления величины простоя агрегата на ремонте к действительному фонду времени ( $\Phi_0$ ), т.е.

$$P = \frac{T_{\text{НР}}}{\Phi_0 T_{\text{МО}}} + T_{\text{НР}}$$

где  $P$  - вероятность нахождения агрегата в неработоспособном состоянии;

$T_{\text{НР}}$  - средняя продолжительность непланового ремонта агрегата, (сут.);

$T_{\text{МО}}$  - средний период между отказами агрегата, (сут.).

Поскольку агрегат может быть отремонтирован в зависимости от вида повреждения в депо или на заводе, то общая формула имеет вид :

$$T_{\text{НР}} = (T_{\text{нак}} + T_{\text{дост}}) * P_3 + T_{\text{деп}} * (1 - P_3),$$

где  $T_{\text{нак}}$  - продолжительность ожидания отправки агрегата на заводской ремонт, (сут.);

$T_{\text{дост}}$  - продолжительность ремонта и доставки агрегата на завод и обратно, (сут.);

$P_3$  - вероятность того, что отказ агрегата требует обслуживания в условиях ремонтного завода;

$T_{\text{деп}}$  - средняя продолжительность деповского ремонта отказавших агрегатов, (сут.).

Вероятность отправки агрегата на заводской ремонт определяется как  $P_3 = N_3/N$ ,

где  $N_3$  - количество агрегатов, снятых на неплановых ремонтах и требующих отправки на завод за год (анализ повреждаемости агрегатов);

Продолжительность ожидания накопления партии отправки на заводской ремонт рассчитывается как половина времени, за которое с вероятностью 0,9 происходит количество отказов, равное величине партии агрегатов, устанавливаемых для отправки на заводской ремонт на одной платформе (Оп) (или другом виде транспорта)

$$T_{\text{НАК}} = \frac{V * M_{\text{О}}}{N} * T_{\text{ЛД}} * \pi;$$

где  $k_n$  - коэффициент, учитывающий случайный характер отказов агрегатов;

$T_{\text{МО}}$  - средний период между отказами, (сут.);

$Б_{\text{ЛД}}$  - количество агрегатов на локомотивах в депо, (шт).

Средний период между отказами определяется как

$$\frac{365 * M_{\text{ЛД}}}{M^{\text{О}} * N}$$

Продолжительность деповского ремонта отказавших агрегатов определяется по статистическим данным депо.

Период между отказами агрегата определяются по месяцу наибольшей повреждаемости

$$T_{\text{МО}} = T_{\text{МО}} / k_m,$$

где  $k_m$  - коэффициент, учитывающий неравномерность отказов по времени года.

Помимо этого методика учитывает сезонный фактор при возникновении отказов.

Учитывая, что в депо имеется  $M_{\text{ЛД}}$  однотипных узлов и агрегатов, одновременно работающих в течение времени  $t$  и при этом наработка до отказа у этих узлов распределена по экспоненциальному закону с интенсивностью  $X'$ , то при этих условиях случайное число отказов агрегатов распределено по закону Пуассона:

$$p(X) = \frac{e^{-V} * V^X}{X!},$$

где  $V$  - математическое ожидание.

Вероятность того, что случайная величина  $X$  примет значение, равное или больше  $x$ , находится по уравнению

00

$$q(x) = \sum_{i=x}^{\infty} P(x)$$

$i=x$

При больших значениях  $V$  целесообразно использовать приближенное уравнение [ 180,181 ]

$$q(x) = 1 - F_0(U_p) ,$$

где  $F_0$  - функция нормального распределения;

$U_p$  - квантиль нормального распределения;

$$\blacksquare u_p = 3\sqrt{x-i}/3\sqrt{x-37x} * \sqrt{K7x} .$$

Принимая это во внимание, расчет страхового запаса целесообразно выполнять в зависимости от величины математического ожидания одновременного выхода из строя нескольких единиц агрегатов с одинаковыми характеристиками  $* P$  ,

где  $N'_{1д}$  - количество работающих агрегатов с характеристиками, позволяющими

производить замену отказавших (определяется как  $= I; *$

$I;$  - коэффициент взаимозаменяемости, учитывающий долю взаимозаменяемых агрегатов от общего их количества).

При  $N^*P < 10$ . рассчитываются интегральные вероятности одновременного

выхода их строя  $Q$  единиц агрегатов из  $N$ , работающих  $I P(X) I :$

$$P(X) = \sum_{x=0}^a \frac{e^{-N^*P} (N^*P)^x}{x!} ,$$

где  $X$  - количество агрегатов, которое может одновременно выйти из строя

$$(X = 0, 1, 2, \dots, a);$$

$0$  - количество агрегатов данного типа, которое может одновременно выйти из строя с интегральной вероятностью  $0,95$ .

Значения  $P(X)$  могут вычисляться самостоятельно или могут быть взяты из таблицы значений пуассоновского распределения.

Величина страхового запаса  $\Pi$  соответствует величине одновременного выхода из строя нескольких единиц агрегатов с интегральной вероятностью 0,95, т.е.

$$n_{\text{стр}} = \int_{x=0}^{\Pi} f(x) P(x) dx = 0,95$$

При  $N \cdot P \geq 10$  величину страхового запаса агрегатов данного типа целесообразно определять по упрощенной формуле

$$n_{\text{стр}} = N \cdot P + 1,65 \sqrt{N \cdot P \cdot (1-P)} + \gamma,$$

где  $\Pi$  - норматив страхового запаса агрегатов;

$\gamma$  - величина, необходимая для целочисленности страхового запаса ( $\gamma < 1$ ).

Таким образом, в соответствии с предложенной методикой [179] расчета размер страхового запаса обеспечивает надежность своевременной замены узлов с вероятностью 0,95.

Предложенные подходы при определении оборотных запасов обеспечивают максимальную экономическую эффективность, методика определения которой приведена в

..

## 5.2. Моделирование размеров оборотных запасов узлов и агрегатов

### ЛОКОМОТИВОВ В ДЕПО-

Для расчетов размеров страхового и технологического запасов узлов и агрегатов в депо в соответствии с предложенной выше методикой был разработан алгоритм и соответствующее программное обеспечение для ПЭВМ. В программе также имеется блок, предусматривающий определение экономической целесообразности создания такого резерва. Помимо этого программа предусматривает расчет вариантов размеров страховых запасов агрегатов для различных способов отправки на ремонтные заводы (различные величины отправляемых партий ( $O_n$ ) и различного времени доставки ( $T_{\text{дост}}$ )).

Программа разработана на алгоритмическом языке "Бейсик" для ПЭВМ "Роботрон" и IBM PC/AT, и реализует методику расчета, приведенную выше. Для пользования программой ниже приведена таблица идентификации исходных и расчетных данных /табл. 5.1/, а также структурная схема самой программы /рис. 5.2/.

Таблица 5.1

Таблица идентификации переменных к программе расчета страховых и технологических запасов основных узлов и агрегатов в депо.

## Исходные данные

- коэффициент, учитывающий долю взаимозаменяемых агрегатов от общего их количества	-GAMMA
К <sub>о</sub> - массив количества отказов агрегатов по месяцам за период наблюдения	- КО (24)
К <sub>оі</sub> - массив количества отказов агрегатов, требующих заводского ремонта, по месяцам за период наблюдения	- КОЗ (24)
п - число месяцев наблюдений о количестве отказов	- N1
М <sub>1д</sub> - количество агрегатов на локомотивах в депо	-KDBL
N - количество агрегатов,* снятых на неплановый ремонт за период наблюдения	-P
N <sub>з</sub> - количество агрегатов, снятых на неплановых ремонтах, и требующих отправки на завод за период наблюдения	-PЗ
К <sub>п</sub> - количество неисправных агрегатов (всего требующих неплановых и плановых ремонтов)	-KP
К <sub>пз</sub> - количество неисправных агрегатов, требующих проведения заводского ремонта (всего с НР и ТР-3)	-KPЗ
Q <sub>min</sub> " минимальный размер партии агрегатов, устанавливаемых для отправки на заводской ремонт на одной платформе или другом виде транспорта	-OPMIN

Продолжение табл.5.1

О <sub>нi</sub> - шаг размера	' -OP1
Опт <sub>ях</sub> - максимальный размер партии агрегатов, устанавливаемых для отправки на заводской ремонт на одной платформе - ОРМАХ	
Т <sub>достгп</sub> - минимальная продолжительность доставки агрегатов на завод и обратно, сут.	- ТДМШ
Т <sub>достд</sub> - шаг продолжительности доставки агрегатов на завод и обратно, сут.	- ТД1
Т <sub>дост.тах</sub> - максимальная продолжительность доставки агрегатов на завод и обратно, сут.	- ТДМАХ
К <sub>кр-i</sub> - нормативное количество ремонтов КР-1 между КР-2 для данного агрегата	- КKR1
К <sub>тр-з</sub> - нормативное количество ремонтов ТР-3 между КР-2 для данного агрегата	- КTR3
Б <sub>тр-2</sub> - нормативный пробег агрегата между КР-2	- LKR2
L <sub>г</sub> - средний годовой пробег одного локомотива инвентарного парка за исследуемый период	- LG
“ нормативная продолжительность КР-2 агрегата	- TKR2
- нормативная продолжительность КР-1 агрегата	- TKR1
- нормативная продолжительность ТР-3 агрегата	- TTR3
Оп - размер партии	- ОП1
Т <sub>дост.</sub> - среднее время доставки	- ТД1
ОС от - доля агрегатов в соответствии с достигнутыми нормативами пробега и технического состояния, отправляемых из депо на ремонтный завод для проведения КР-1 и КР-2 - АОТ	
Ц - цена перевозки 1 ткм груза, производимой локомотивами депо - СС	
С - себестоимость перевозки 1 ткм, производимой локомотивами - С	

$v B_{\text{п}}$	- объем перевозок, невыполненных в случае отсутствия резерва агрегата, ткм	- BP
$P_{\text{ч}}$	- часовая производительность локомотива, в состав которого входит данный агрегат	- RR
$Z_{\text{уд}}$	- годовая сумма условно- постоянных затрат в себестоимости перевозок, крб	- ZYP
$A$	- амортизационные отчисления на агрегаты данного типа, крб	- A
$C_{\text{зап}}$	- затраты на создание запаса агрегатов	- KREZ

## Расчетные данные

$P_3$	- вероятность того, что отказ агрегата требует обслуживания - условиях ремонтного завода	- R3
$k_{\text{м}}$	- коэффициент, учитывающий неравномерность отказов по времени	- KM
$k_{\text{н}}$	- коэффициент, учитывающий неравномерность отказов агрегатов, требующих заводского ремонта, за период наблюдения	- KM3
$T_{\text{мо}}$	- средний период между отказами агрегатов	- TOP
$T_{\text{нак}}$	- продолжительность ожидания накопления партии отправки агрегатов на заводской ремонт	- TNAK
$T_{\text{деп}}$	- продолжительность деповского ремонта отказавших агрегатов	- TOD
$T_{\text{нр}}$	- средняя продолжительность непланового ремонта агрегатов	- TO
$P$	- вероятность выхода из строя агрегата	- V
$Ы'_{\text{лд}}$	- количество работающих агрегатов с характеристиками, позволяющими произвести замену отказавших	- NP

$T_{\text{накп}}$	- продолжительность накопления партии отправки агрегатов с ТР-3 локомотивов на заводской ремонт	- TNAKP
$P_{\text{стр}}$	- величина страхового запаса	- MPC
$T_{\text{рема}}$	” суммарная продолжительность простоев агрегатов на плановых ремонтах	- TRMP
$T_{\text{рм}}$	- продолжительность ремонтного цикла капитального ремонта КР-2 агрегата	- TRM
$h_p$	- норматив потребности в технологическом запасе агрегатов	- HPP
$P(X)$	- вероятность отказа количества агрегатов ( $X = 0, 1, 2, \dots, K$ )	- PD
$P_{\text{техн}}$	- размер технологического запаса агрегатов - ТЗ	
$E_{\text{зап}}$	- экономическая эффективность оборотного запаса агрегатов	- EREZ
$v_B$	- производительность локомотива с работающим резервным агрегатом за рассматриваемый период	- ДВ
$T_{\text{зап}}$	- срок окупаемости затрат, связанный с созданием резерва	-TOREZ

В соответствии с разработанной методикой расчета страхового и технологического запасов узлов и агрегатов локомотивов в депо были собраны соответствующие статистические данные (депо Лозовая, Основа, Гребенка, Октябрь Южной железной дороги). Первичная информация была взята из журналов ТУ-29, журналов сменяемости агрегатов и узлов на локомотивах, журналов отправки неисправных узлов и агрегатов на заводской ремонт, форм ТО-5 "Отчет о наличии запаса и оборота важнейшего оборудования локомотивов", статистических данных, собранных в депо непосредственно. Коэффициент неравномерности сезонного количества отказов  $/k_T /$  определялся как отношение количества отказов в месяц наибольшей повреждаемости к среднемесячному значению. Коэффициент

Структурная схема программы расчета страхового  
и технологического запаса!) агрегата!) а узлоё  
миомотцёоё ё депо

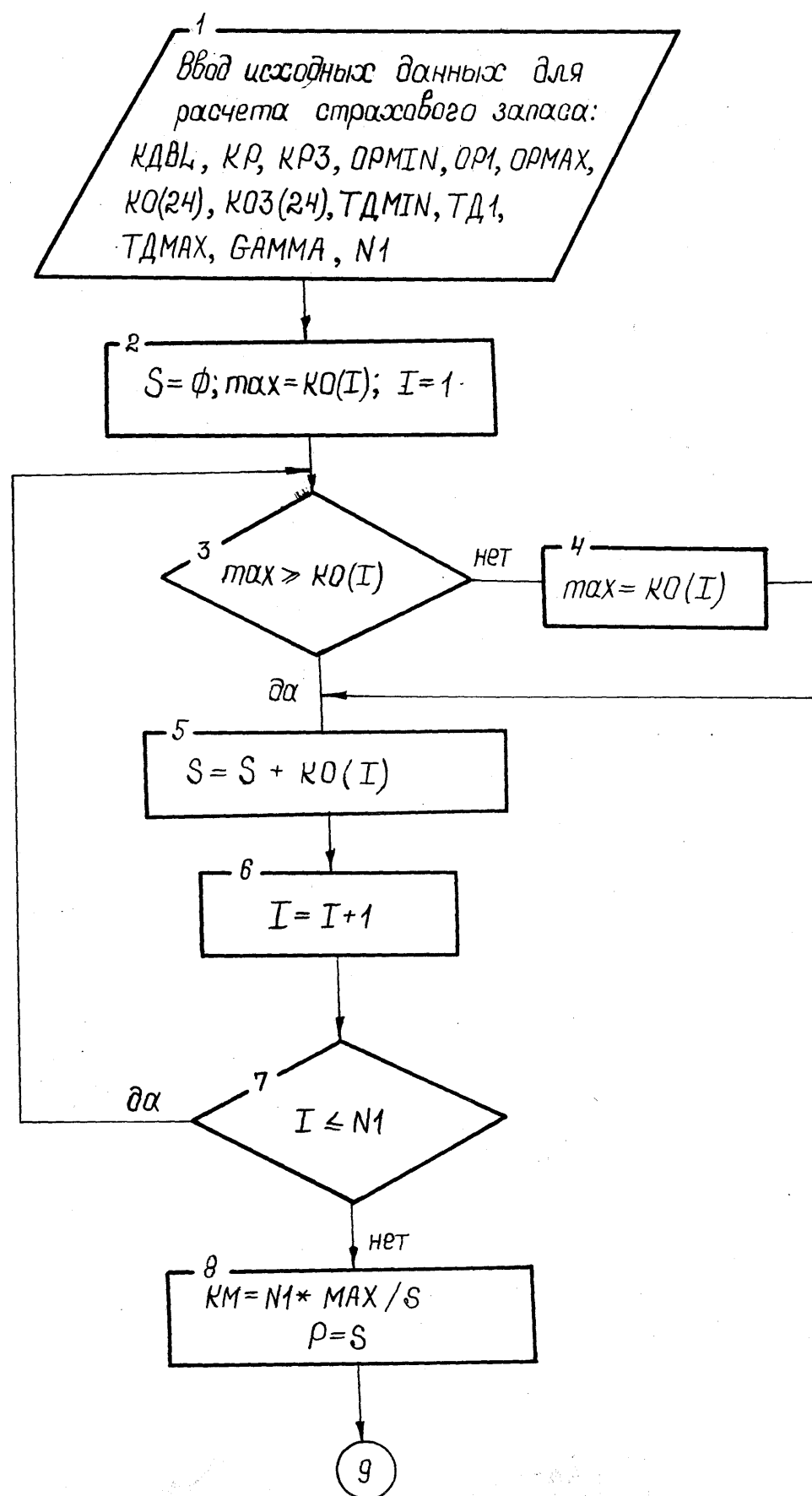


Рис. 5.2



$$(<td * V01 + Sd * (V1 + \text{№1}) = 01$$

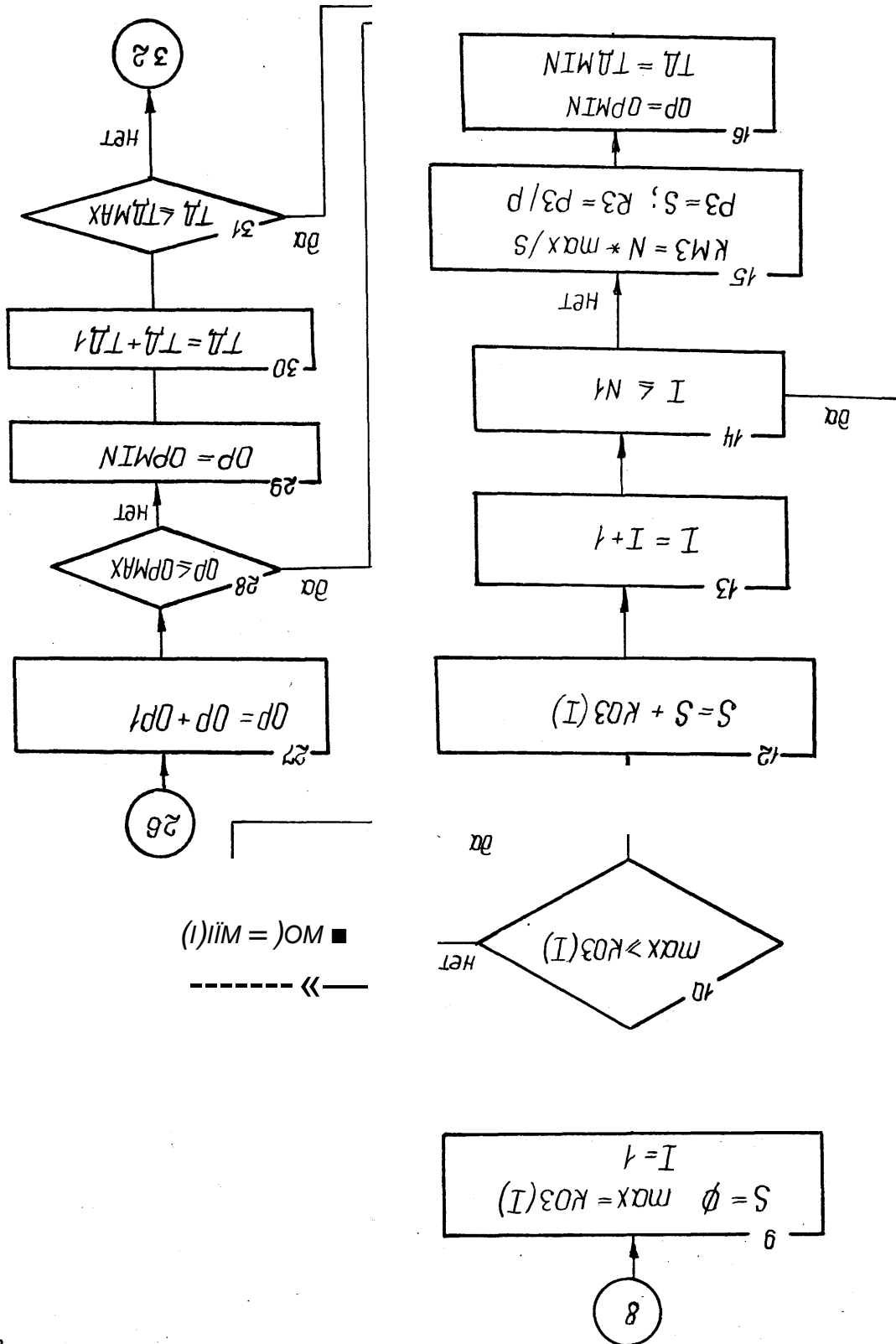
$$M + d01 = d1$$

$$(b1 * (0 > 1 + 1)) / (\text{Ш} - b1) * H * \$9 \sim V01$$

$$(\text{£H} * 'igVX) / dO * dOI * CA / \text{П} = \text{Ш1}$$

$$(& * d) / AA / * S92 \cdot dQVd = d01$$

----- 1



$$Y - TO / (TO + TP)$$

$$NP = CAШ * KДВБ$$

нет 19

$$MP * Y < 10$$

$$K = \emptyset ; \Delta = 1,0$$

$$S = \emptyset. \emptyset$$

---


$$M \text{-----}$$

$$PД = MP * V ** P / ((e * P(MP * \Delta))$$

$$S - S + PД$$

$$PД \text{ с } 0,95$$

$$MPC =$$


---

—24

H-HЧ

—25

$$MPC = INT(MP * V + 1,55 * SQRT(MP * V * ^{-V})) * 0,5$$

SB

Печать

---

 Размер стротсоёого запаса = И. PQ

Продолжение рае.

—32-----1-----

Определение размера/] технологического запаса

33

Ввод исходных данных:

 $LKR2; PO; Ш; PTR3; TKR1;$  $TW2; TTR3; ПОТ; ОПТ, 7Д1$ 

$$\blacksquare TNfHP = TA'ЙЙ * 0ГМ / (МКЗ * ЯОТ)$$

$$TШ = КТИЗ * TTR3 + WR1 \quad TURZ \ t$$

$$+ (W.M + 1, O) * fIOT * \quad (TNM.P'TA-1)$$

$$tim = 365 * 1 < \kappa \mathcal{N} 2 / 1 < a -$$

$$HPP = TRMP / TRM$$

$$T3 = HDВБ * HPP$$

35

Печать:

Размер технологического запаса - T3

36

Определение экономической эррентиёносгтц  
создания общего запаса агрегатов

37

Ввод исосодноіос данных:

 $CC; C; ££; 24 P; KRE2 \ f \ BP; Я$ 

Продолжение рас. 5.Z



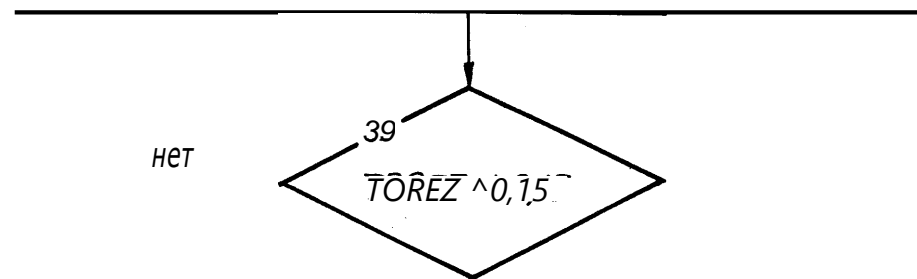
— 38

$D8M\text{€} * 30E * 2H^* - o_oOE ;$

$E\text{€}E2 = D\text{€} * (PC-C) I-2YP * D\text{€}/\text{v}P \sim A ;$

TOHETE MET./EREZ;

TOREZ =  $\partial.O$ /TOREZ



нет

да

- НО -----

Печать: резерв оборудования  
экономически не целесообразен

- V/-----

Печать: Резерв оборудования  
экономически целесообразен

— 42-----!

Печать: экономический Эффект = EREZ

Продолжение рис. & 2

взаимозаменяемости определялся как отношение величины наименьшей группы взаимозаменяемых агрегатов на локомотивах Кч общему количеству однотипных агрегатов на локомотивах. Величина партии одновременной отправки на завод /Од/ изменялась от минимальной до максимальной величины партий за исследуемый период в депо с выбранным шагом. Продолжительность доставки агрегатов на завод и обратно /Т<sub>дост.</sub>/ изменялась от минимальной до максимальной величины за рассматриваемый период в депо с выбранным шагом. Величина  $a_{от}$  определялась в соответствии с соотношением нормативных пробегов между ремонтами локомотивов и агрегатов. Для уточнения исходных данных был использован также метод экспертных оценок. В качестве экспертов были приглашены:

- старший мастер электромашинного цеха;
- старший мастер дизель-агрегатного цеха;
- старший мастер колесного цеха;
- главный технолог депо;
- техники цеха ТО-3 и ТР-1.

В качестве иллюстрации использованы данные, собранные в депо Лозовая Южной ж.д. В соответствии с исходными данными, представленными в табл. 5.2 проведены расчеты размеров страховых запасов на ПЭВМ. Расчеты по каждому заданному агрегату для заданных типов локомотивов приведены в зависимости от различного времени доставки партии агрегатов на ремонтный завод и обратно /Т<sub>дост.</sub>/ и различных величин отправляемых партий /Од/. На основании расчетов построены также номограммы размеров страхового запаса, часть которых проиллюстрирована на рис.5.3, 5.4. Полученные результаты позволяют провести анализ зависимости размеров каждого страхового запаса от времени доставки на ремонтный завод и обратно /Т<sub>дост.</sub>/ и величины партии отправки /Од/, выбрать оптимальный размер запаса, а также предложить вариант организации создания запасов агрегатов по минимуму экономических затрат. Рекомендуемое расчетное количество запасов агрегатов для существующего варианта организации ремонтов в депо Лозовая Южной ж.д. также приведено в табл. 5.2.

Номограмма для определения величины страхового запаса колесных пар, теплоёозоё ТЭП60 от бремена достатки на ремонтный заёод и

			$Q_n^{-2}$
			$O_n-P$
			<b><math>O_{..-Ю}</math></b>
			$Opz3$
			$O_n-8$
			$O_n^{\wedge}$
			$O_n^{*8}$
			$O^5$
			<b>ОЛЧ</b>
			$O_n=$
			<b>Ъ</b>
			$O_n \sim S$
			$Qpj$
			$\sim j$
			$T_{дооСГ, \wedge}$
	2	4	6
	$P_{uo.} / \Gamma.3$		

Зависимость величины страхового запаса шестью пар  
теплоёзод ТЗП60 от размера партии отправки  
( депо Лозоёая )

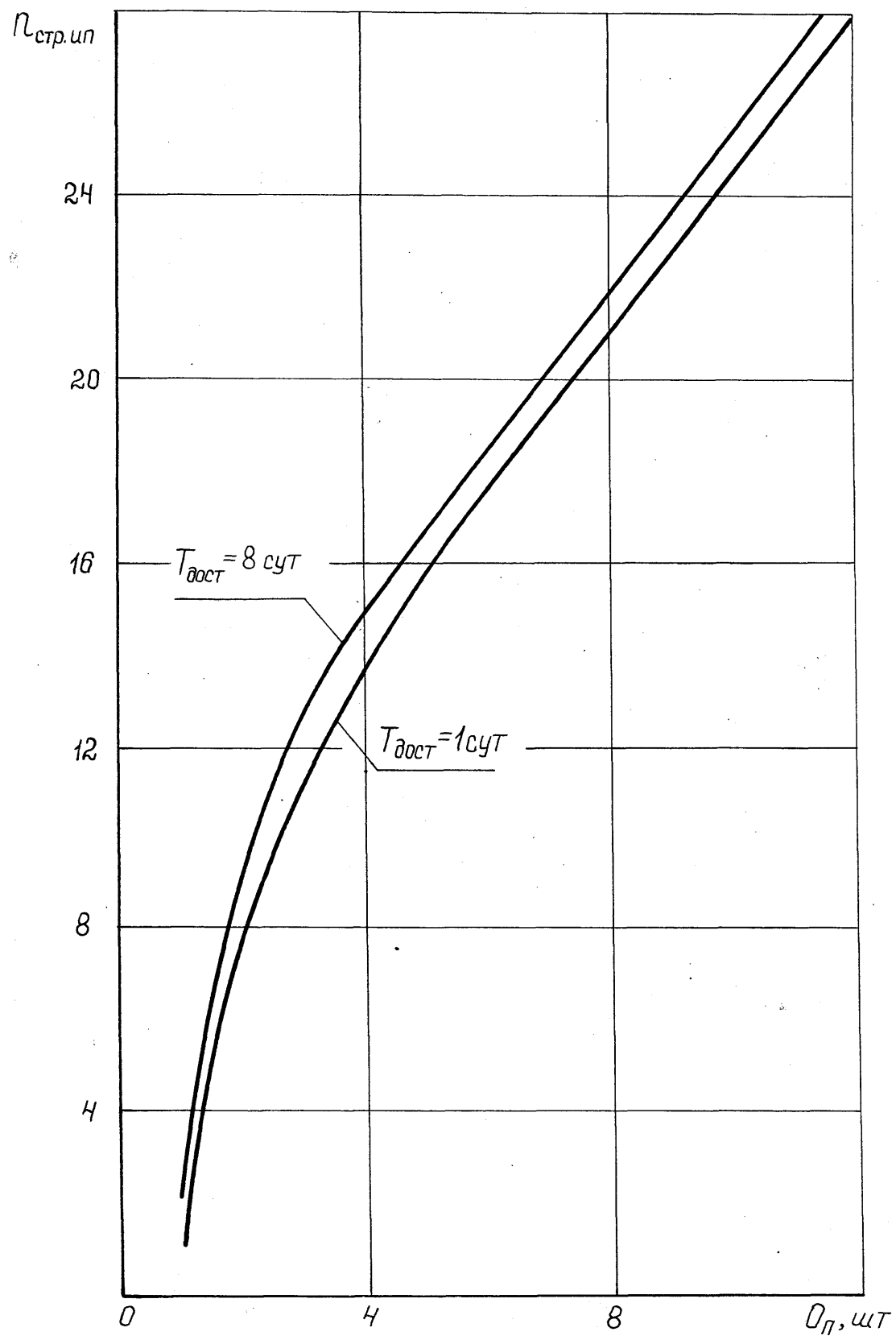


Рис. 5Л

Изложенные принципы расчета и моделирования величины страхового запаса узлов и агрегатов локомотивов проиллюстрированы также на примере депо Гребенка /рис. 5.5, 5.6/. В качестве примера предложены номограммы и зависимости для определения страхового запаса тяговых электродвигателей. Тяговые электродвигатели ремонтируются на Смелянском электромеханическом ремонтном заводе. Партию агрегатов для ремонта отправляют автомобильным транспортом в количестве от 6 до 9 единиц ТЭД или на железнодорожных платформах, устанавливая по 20 штук на одной платформе. Время доставки по данным депо Гребенка в зависимости от вида транспорта составляет от одних до 30 суток, в дальнейшем это было учтено при разработке рекомендаций по хранению страхового запаса ТЭД.

Из проведенных расчетов и номограмм /рис. 5.3 - 5.6/ можно заключить, что на размер страхового запаса  $P_{стр}$  основное влияние оказывает время накопления агрегатов для отправки на заводской ремонт, т.е. величина партии отправки  $O_d$ . При этом ввиду целочисленности величины  $P_{стр}$  на рис. 5.4 и рис. 5.6 приведена лишь тенденция изменения  $P_{стр} = P_{стр}(O_d)$ , чтобы не загромождать предложенные рисунки.

Анализ номограмм  $P_{стр} = P_{стр}(T_{дост})$  /рис.5.3, 5.5/ при фиксированных значениях партии отправки  $O_d$  показывает, что в пределах изменения времени доставки на завод и обратно, соответствующих деповским данным, на величину страхового запаса величина  $T_{дост}$  влияет незначительно.

С учетом изложенного для сокращения страхового запаса целесообразно пересмотреть существующую организацию доставки агрегатов в заводской ремонт с целью уменьшения количества агрегатов в партии при отправке, что в свою очередь предполагает увеличение частоты пополнения запаса. Т.е. стратегия формирования оборотных запасов узлов и агрегатов в локомотивном депо предполагает разработку правил принятия решения, на основании которых устанавливается срок и размер партии отправки  $O_d$ , необходимой для пополнения  $п_{об}$ . При организации ТО и ТР

Номограмма для определения величины страхового запаса тягоёйюс электродвигателей теплоёозоё йТЭМе от времени достаём и на ремонтный заёод и обратно (депо Греденка)

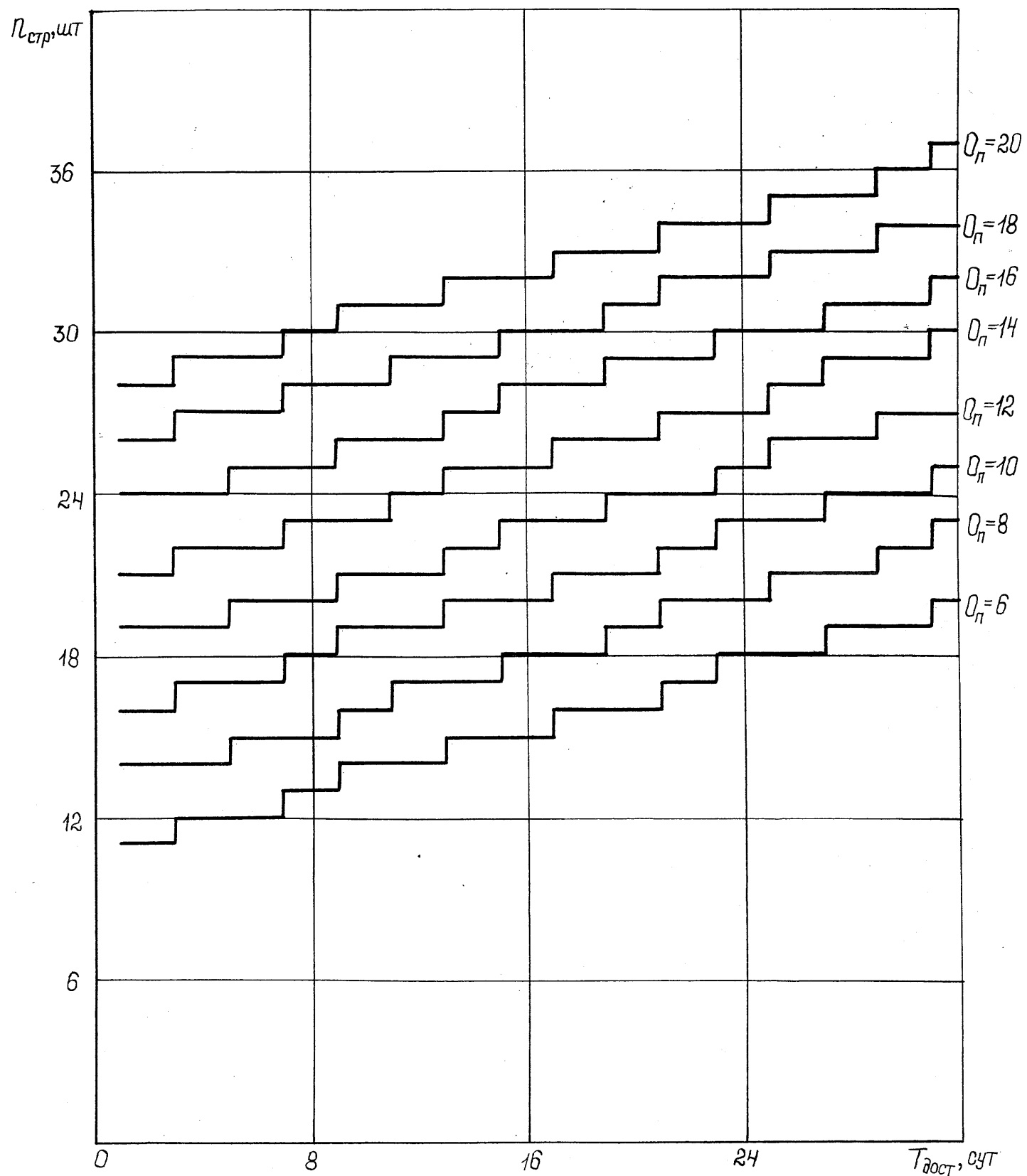


Рис. 5.5

Заполнительность величины страхового запаса тягоёых  
электродвигатели

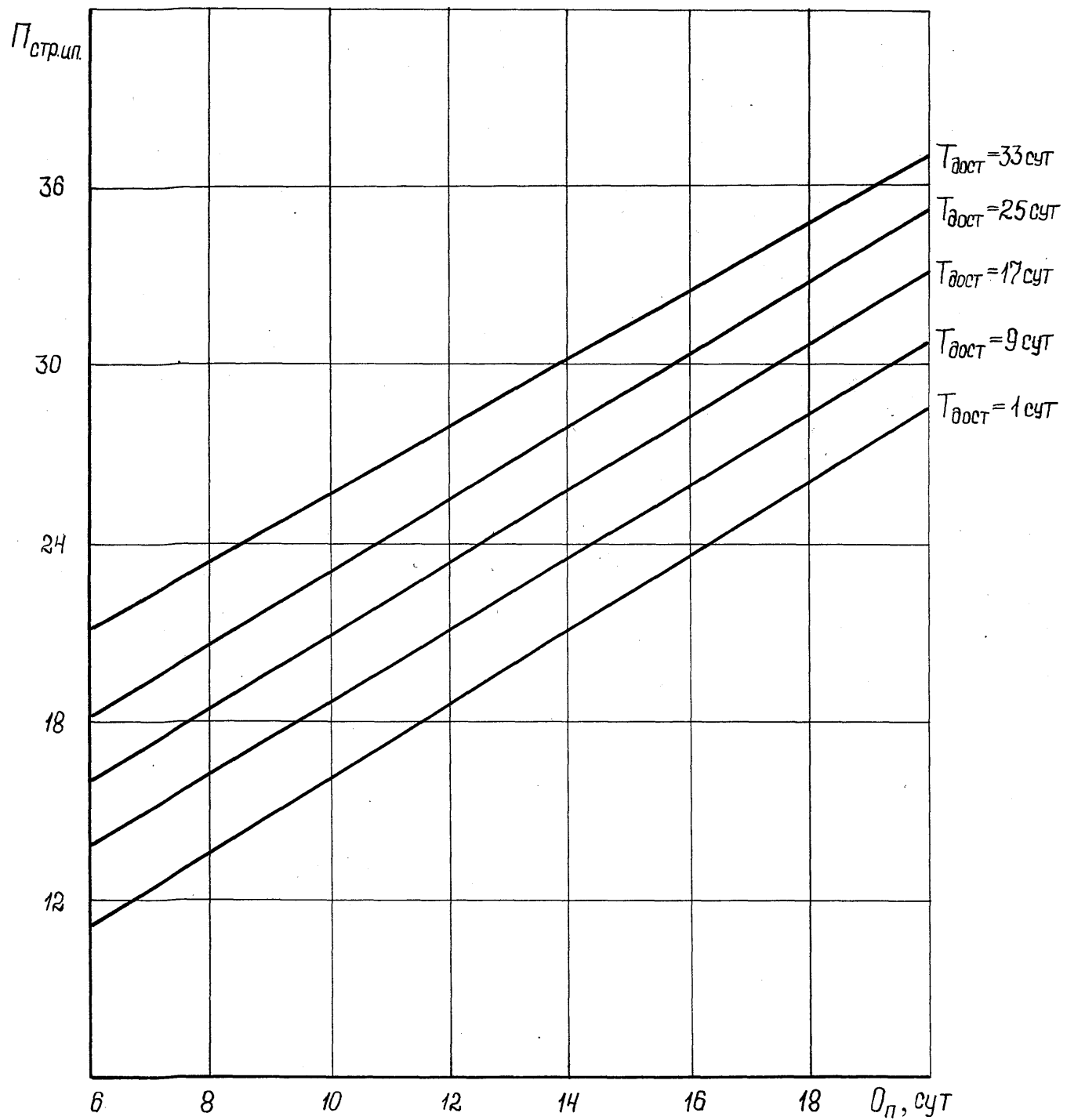


Рис. 56

целесообразно исходить из недопущения дефицита запасов, т.к. существование дефицита запаса для депо равносильно срыву графика ремонта.

Общие затраты депо, связанные с пополнением страхового запаса  $/C_{зап}/$  за рассматриваемый период времени, очевидно состоят из затрат на приобретение, хранение и содержание запаса  $/C_{цх}/$  и затрат на транспортировку партий отправки на ремонтный завод и обратно  $/Стр/$ .

$$C_{зап} = C_{дх} + Стр \quad (5.10)$$

Если принять во внимание, что экономическая стратегия депо состоит в том, чтобы на одну денежную единицу, вложенную в запасы, получить  $h$  денежных единиц отдачи, то затраты на приобретение и хранение запасов можно выразить в виде

$$C_{ж} = 1/2 * h * (Ц_{а} + Ц_{хр}) * Оп, \quad (5.11)$$

где  $Ц_{а}$  - стоимость агрегата или узла, которую локомотивное депо должно

перечислить ремонтному заводу;

$Ц_{хр}$  - стоимость хранения и содержания агрегата или узла в составе запаса, включая амортизационные отчисления.

Затраты на транспортировку агрегатов и узлов локомотивов на ремонтный завод и обратно определим следующим выражением:

$$Стр = Ц_{пер} * X_{а}/Оц, \quad (5.12)$$

где  $Ц_{пер}$  - стоимость перевозки на ремонтный завод и обратно  $/Ц_{пер}$  зависит от

вида используемого транспорта(железнодорожная платформа или автомобильный транспорт)/;

$X_{а}$ - интенсивность использования страхового запаса данного вида агрегатов или узлов, т.е. количество единиц агрегатов или узлов данного типа, которое используется из запаса за рассматриваемый промежуток времени в депо, если рассматриваемый период равен календарному году, то размерность данного параметра (шт/г).

На рис. 5.7 представлена зависимость общих затрат, связанных с пополнением запасов  $/C_{зап}/$  за рассматриваемый период времени, от величины партии отправки

Общ.и.е затраты, осязание с пополнением запасов

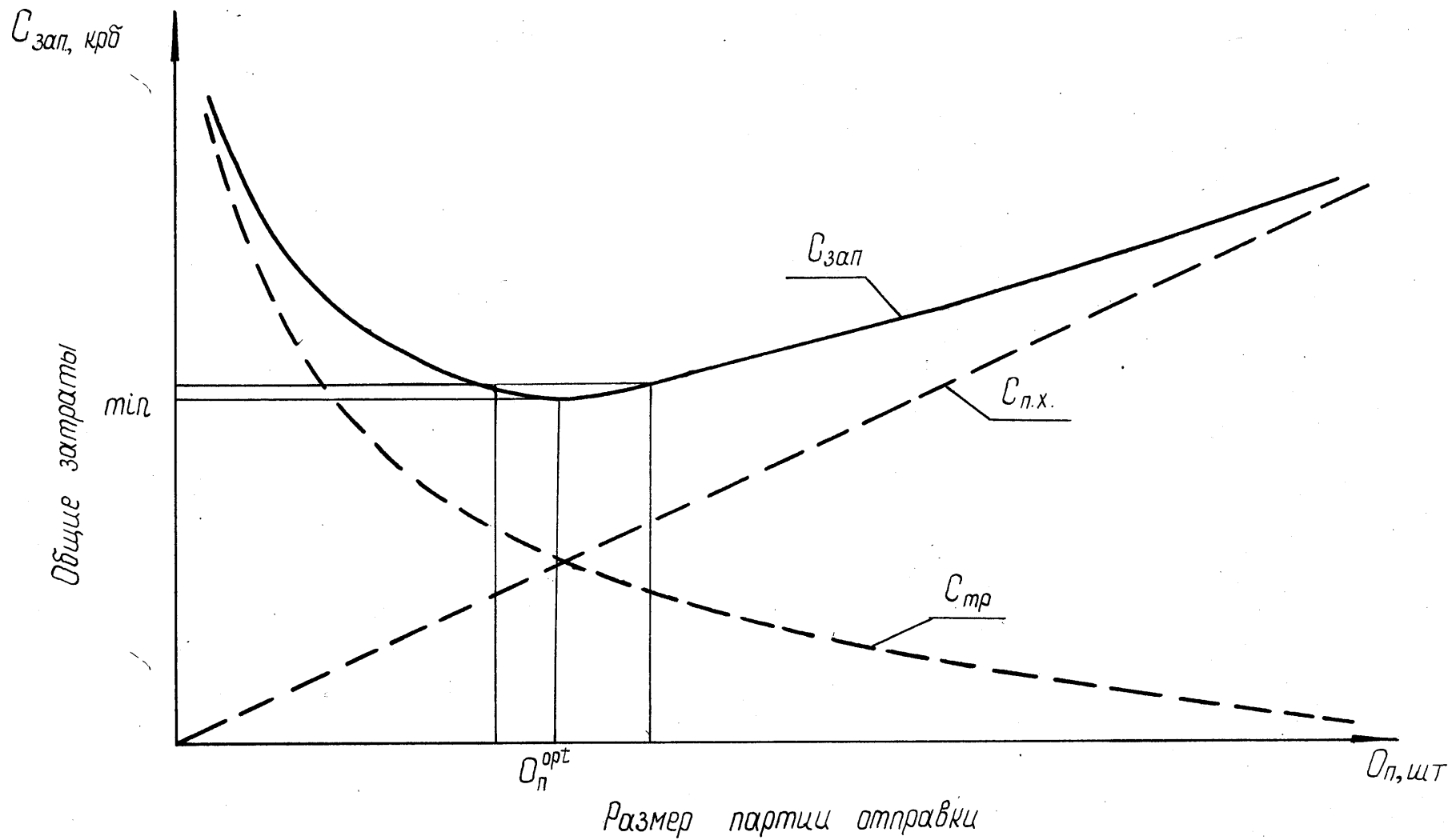


Рис. 5.7

/Оп/. Для существующих В ЛОКОМОТИВНЫХ депо стоимостей  $C_a$ ,  $C_{xp}$  И  $C_{пер}$ - В окрестности точки оптимума кривая общих затрат довольно пологая. Если фактическая партия отправки находится в пределах от  $Оп / д/2$  до  $Оп * л/2$  , то общие затраты будут менее чем на 6% превышать минимальное значение. Следовательно, ошибка в оценке любого из входящих в формулы /5.11/, /5.12/ параметров не будет серьезно влиять на эффективность практического использования данных формул. Учитывая это, полученные результаты по определению оптимальной партии отправки вполне согласуются с другими исследованиями, приведенными в /184-190/.

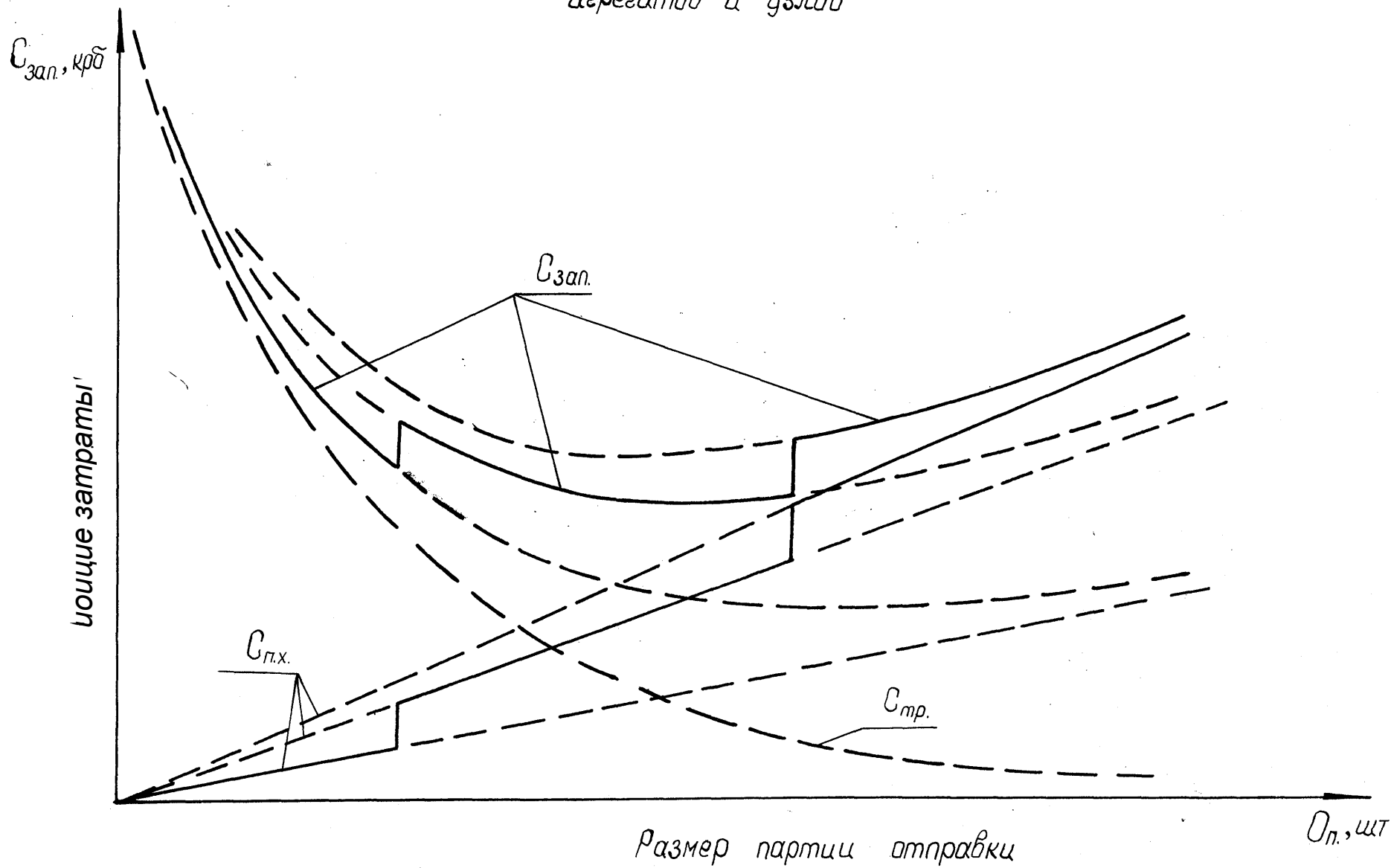
Принимая во внимание, что в настоящее время имеет место тенденция изменения стоимости узлов и агрегатов (в основном это тенденция увеличения  $C_a$ ), предлагается более общий подход для определения экономического размера партии отправки агрегатов и узлов на ремонтные заводы.

Увеличение стоимости агрегата или узла  $C_a$  влечет за собой увеличение тангенса наклона прямой  $C_{пх} = 1/2 * h * (C_a + C_{xp}) * Оп$ , т.е. моменты увеличения  $C_a$  будут соответствовать точкам разрыва. На рис. 5.8 приведены кривые общих затрат на пополнение запасов в случае, когда стоимость агрегатов и узлов изменяется при очередном заказе партии Оп на ремонтном заводе.

Таким образом, предлагаемая методика формирования оборотных запасов позволяет определить с вероятностью 0,95 необходимую величину запаса узлов и агрегатов в локомотивном депо и предложить наиболее экономичный вариант его создания.

Разработка такой методики позволяет оптимизировать подсистему формирования запасов при решении задачи обеспечения эффективного и устойчивого функционирования ремонтных участков локомотивов в депо.

Общие затраты, связанные с пополнением запасов с учетом увеличения стоимости агрегатов и узлов



Размер партии отправки

Рис. 5.8

### **5.3, Исследование и оценка показателей эксплуатационной и ремонтной технологичности конструкции локомотивов**

Совокупность свойств локомотива, определяющих приспособленность его конструкции к достижению оптимальных затрат ресурсов при производстве, эксплуатации и ремонте для заданных показателей качества и условий выполнения работ, представляет собой технологичность конструкции изделия (ТКИ). ТКИ выражает не функциональные свойства изделия, а его конструктивные особенности. Эксплуатационная и ремонтная ТКИ характеризуется средней оперативной продолжительностью и средней оперативной трудоемкостью локомотива в целом или отдельных его узлов и агрегатов при проведении ТО и ТР, а следовательно в значительной степени оказывает влияние на интенсивность обслуживания его на ремонтном стойле (Ц).

Особенно этот фактор необходимо учитывать для локомотивов новых серий, т.е. уже на стадии создания технического задания заказчику (Укрзалізниця) целесообразно закладывать пределы ограничения по показателям ТКИ. Таким образом, в состав работ по обеспечению ТКИ должны входить мероприятия по снижению трудоемкости, технологической себестоимости локомотива в эксплуатации и ремонте и продолжительности ТО и ТР. Для локомотивного депо оценка показателей эксплуатационной и ремонтной ТКИ позволяет сопоставить имеющиеся производственные мощности участков ТО и ТР и производственные мощности, необходимые для проведения ТО и ТР локомотивам новых серий, поступающих в эксплуатацию. В конечном итоге это позволит руководству депо принимать управленческие решения по обеспечению устойчивого функционирования системы "локомотивный парк в распоряжении депо - участки ТО и ТР".

При этом под оценкой ТКИ подразумевается комплекс взаимосвязанных мероприятий, включающих последовательное выявление ТКИ, сопоставление выявленной ТКИ с ТКИ локомотива, конструкция которого принята в качестве базы для сравнения и представления результатов сопоставления в форме, приемлемой для принятия управленческих решений [191-193].

Необходимо отметить, что эксплуатационная и ремонтная ТКИ тесно связана с другим важным свойством - ремонтпригодностью, которая в свою очередь, является важнейшей составной частью надежности. Области проявления эксплуатационной и ремонтной ТКИ и ремонтпригодности пересекаются. Ремонтпригодность является связующим звеном между эксплуатационной и ремонтной ТКИ и его надежностью. Основными показателями этих свойств являются затраты времени и труда на выполнение определенных комплексов профилактических и восстановительных операций, осуществляемых в процессах эксплуатации, ТО и ТР локомотивов [192,194-196].

Эксплуатационная и ремонтная ТКИ характеризует только приспособленность конструкции локомотива к выполнению на нем определенных операций, а ремонтпригодность - потребность локомотива в конкретных операциях, обусловленных требованиями надежности, и приспособленностью его к их выполнению.

Основными показателями эксплуатационной и ремонтной ТКИ локомотивов применительно к системе ремонтных участков являются средняя оперативная Продолжительность (Топер) и Средняя оперативная трудоемкость (Тр опер) в ТО и ТР. Эти показатели характеризуют только свойство конструкции локомотива и его техническое состояние в отличие от аналогичных показателей самой системы ТО и ТР, которые характеризуют общие затраты на проведение ТО и ТР локомотивов и зависят также от организации, применяемых технологических процессов и материально-технического обеспечения системы ремонтных участков.

Как показали наблюдения, проведенные в депо, оперативные продолжительности ТО-3 и ТР-1 ( $T_{\text{р}}^{\text{ТМ}^3}$  и  $T^{\text{р}^1}$ ) локомотивов составляют порядка 55 - 60 % от общей продолжительности простоя локомотива на стойле при проведении им ТО-3 или ТР-1 соответственно. Общая продолжительность простоя помимо оперативной продолжительности включает подготовительно-заключительное, дополнительное время и время ожидания.

Помимо основных показателей ТКИ целесообразно оценить дополнительные показатели, характеризующие технологическую рациональность и преемственность

конструкции нового локомотива применительно к имеющимся производственным мощностям участков ТО и ТР в депо. Дополнительные показатели позволяют эффективно и целенаправленно совершенствовать технологические процессы ТО и ТР с целью снижения разного вида затрат и повышения эксплуатационной надежности локомотивов. Показатели технологической рациональности и преемственности конструкции нового локомотива выражаются в виде относительных показателей ТКИ и характеризуют некоторые частные свойства.

Эксплуатационная и ремонтная технологичность конструкции локомотивов определяется рядом таких частных свойств - доступность, легкоъемность, взаимозаменяемость, технологическая простота и преемственность, контролепригодность, восстанавливаемость его основных частей.

Как известно, доступность - свойство конструкции локомотива, определяемое рациональным размещением агрегатов в кузове, обеспечивающим свободный доступ к ним при проведении ТО и ТР, а также рациональной компоновкой самих агрегатов. Доступность оценивается коэффициентом

$$K = \frac{T}{T_{p.o} + T_{p.v}}$$

где  $T_{p.o}$  - основная трудоемкость локомотивов при проведении ТО и ТР;

$T_{p.v}$  - вспомогательная трудоемкость локомотивов при проведении ТО и ТР;

Доступность имеет большое значение (влияет на продолжительность выполнения, а следовательно на интенсивность обслуживания ц) при выполнении практически всех операций ТО-3 и ТР-1. В то же время при выполнении ТР-3 и капитальных ремонтов, где производится полная разборка локомотива, это свойство ТКИ проявляется в значительно меньшей степени.

Легкоъемность - свойство конструкции локомотива, определяемое рациональным его членением на составные части, использованием рациональных способов крепления и соединения составных частей, применением приспособлений, облегчающих демонтаж. Коэффициент легкоъемности определяется

$$K_{\text{JC}} = \frac{\sum \text{Тр}_{\text{дм } i}}{\text{АР.О}}$$

где  $\text{Тр}_{\text{дм } i}$  - трудоемкость  $i$ -ой составной части локомотива (агрегата) в  
демонтажно-монтажных работах при проведении ТО и ТР;  
 $N$  - число составных частей локомотива (агрегата), требующих  
обслуживания;

$\text{Тр}_o$  - общая трудоемкость при проведении ТО и ТР.

Важное значение имеет легкоśćемность при выполнении неплановых  
ремонтов, а также ТР-2, ТР-3 и КР, выполняемых крупноагрегатным методом. В  
меньшей степени легкоśćемность влияет при выполнении ТР-1 и особенно ТО-3.

Взаимозаменяемость составных частей агрегата или агрегатов локомотива -  
свойство конструкции составной части агрегата (агрегатов локомотива),  
обеспечивающее возможность ее применения вместо другой, аналогичной составной  
части без дополнительной обработки.

Коэффициент взаимозаменяемости вычисляется по формуле

$$K_{\text{ВЗ}} = \frac{\text{Тр}_m}{\text{Тр}_\Pi + \text{АР.П}}$$

где  $\text{Тр}_m$  - оперативная трудоемкость изделия в монтажных операциях по замене  
составных частей агрегата при ТО и ТР без учета пригоночных,  
регулирующих и селективных работ;

$\text{Тр}_\Pi$  - оперативная трудоемкость агрегата в пригоночных, регулирующих и  
селективных операциях при ТО и ТР.

Технологическая простота - свойство конструкции узла (и локомотива в  
целом), определяемое уровнем квалификации исполнителя, необходимым для  
выполнения данного вида ТО или ТР.

Технологическая прее́мственность - свойство конструкции локомотива или его  
агрегатов, обеспечивающее возможность применения типовых технологических

Контролепригодность - свойство конструкции агрегата локомотива, обеспечивающее возможность, удобство и надежность его контроля при ТО и ТР.

Коэффициент контролепригодности определяется по формуле

$$K = \frac{T_{\text{оп}}}{T_{\text{р.д.}} + T_{\text{р.всп}}}$$

где  $T_{\text{р.д}}$  - трудоемкость агрегата в основных операциях технического контроля (диагностирования);

$T_{\text{р.всп}}$  - трудоемкость агрегата во вспомогательных операциях технического контроля (диагностирования).

Контролепригодность является одним из основных свойств ТКИ при проведении ТО-3, ТР-1 и НР локомотивов. Ее значение еще больше возрастает при переходе к обслуживанию и ремонту локомотивов по техническому состоянию.

Восстанавливаемость - свойство конструкции составной части изделия, обеспечивающее возможность придания ей в процессе ремонта номинальных или ремонтных размеров и свойств. Восстанавливаемость является качественной характеристикой конструкции изделия и количественно не оценивается.

Для каждого из рассмотренных свойств ТКИ характерны свои области проявления в процессе эксплуатации, технического обслуживания и ремонта локомотивов, причем эти свойства могут проявляться в различных сочетаниях. Поэтому целесообразно ввести комплексный показатель ТКИ -  $K_{\text{комп.}}$ .

Учитывая, что исходные показатели ТКИ неравноценны по степени их воздействия на комплексный показатель, целесообразно использовать зависимость, позволяющую учитывать весомость отдельных показателей

$$K_{\text{комп.}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{b_i} / k_i}{\sum_{i=1}^n S_{b_i}}$$

где  $b_i$  - коэффициент весомости  $i$ -го частного показателя.

На основании анализа операций технологических процессов ТО-3 и ТР-1 локомотивов, экспертных оценок проведенных в депо, а также результатов

исследований и справочных материалов приведенных в [197-204] коэффициенты весомости и соответственно выражения для комплексных показателей имеют следующий вид:

для ТО-3 
$$= \frac{5K_{Д} + K_{Ж} + K_{В} + 2K_{К}}{\$}$$

для ТР-1 
$$\frac{4K_{Д} + K_{В} + K_{К}}{ОМПЛ \quad у}$$

для НР 
$$K_{К} \frac{5K_{Д} + 2K_{Ж} + 2K_{В} + 2K_{К}}{ОМПЛ \quad ||}$$

Анализ выражений для определения коэффициентов  $K_{Д}$ ,  $K_{Лс}$ ,  $K_{В}$  и  $K_{К}$  показывает, что их значения изменяются в пределах от 0 до 1. Причем, чем совершеннее конструкция, тем ближе коэффициенты  $K_{Д}$ ,  $K_{В}$  и  $K_{К}$  к 1, а коэффициент  $K_{Лс}$  к 0.

Таким образом, применительно к системе ремонтных участков ТО-3, ТР-1 и НР, показатели ТКИ можно представить вектором с компонентами

$$\vec{P} = \begin{pmatrix} \Gamma_{ТКН} \\ \Gamma_{опер} \\ \Gamma_{ДЛЗ} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Gamma_{ТО-3} \\ \Gamma_{ТР-1} \\ \Gamma_{НР} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \Gamma_{ТА} \\ \Gamma_{TZ} \\ \Gamma_{ТГ} \end{pmatrix}$$

ИЛИ

$$P = \begin{pmatrix} \Gamma_{ТО-3} \\ \Gamma_{ТР-1} \\ \Gamma_{НР} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} K_{ТО-3} \\ K_{ТР-1} \\ K_{НР} \end{pmatrix}$$

Для сравнительной оценки ТКИ нового локомотива целесообразно сопоставлять показатели ТКИ нового и базового локомотива в форме отношений

$$\frac{iv_{нов} / iv_{баз}}{\Gamma_{опер} \cdot \Gamma_{компл} \cdot \Gamma_{к_омпл}} = \frac{гр_{нов} / гр_{баз}}{\Gamma_{опер} \cdot \Gamma_{компл} \cdot \Gamma_{к_омпл}}$$

В качестве базового локомотива предлагается тепловоз типа 2ТЭ10, для которого технология проведения ТО и ТР достаточно хорошо отработана в депо. Оценка показателей ТКИ проведена для основных узлов и агрегатов тепловозов 2ТЭ10 [205].

Исходная статистическая информация была получена путем проведения хронометражных наблюдений в депо Основа Южной ж.д., а также была взята из [198,200]. При этом получено, что значения основной и вспомогательной трудоемкостей исследуемых узлов и агрегатов представляют собой математические ожидания нормально распределенной случайной величины. Результаты оценок

показателей ТКИ для некоторых узлов и агрегатов тепловозов типа 2ТЭ10 приведены в табл. 5.3.

Таким образом, сопоставляя основные и дополнительные показатели ТКИ эксплуатируемых и новых локомотивов, руководству депо возможно заранее проводить организационные и технические мероприятия по обеспечению устойчивого функционирования системы "локомотивный парк в распоряжении депо - участка ТО и ТР" при вводе в эксплуатацию локомотивов новых серий.

Таблица 5.3

Показатели технологичности конструкции узлов  
и агрегатов тепловозов типа 2ТЭ10.

Наименование агрегата или узла	П О К АЗАТЕ		Л И Т К И	
	Доступ- ность Кд	Легкоъем- ность Клс	Взаимозаме- няемость Кв	Контроле- пригодность Кк
Тяговый генератор	0,458	0,278	0,375	0,692
Тяговый электродвигатель	0,367	0,214	0,650	0,587
Синхронный подвозбудитель	0,654	0,339	0,637	0,101
Контроллер машиниста	0,884	0,373	0,974	0,293
Распределительный редуктор	0,721	0,523	0,633	0,042
Гидромеханический редуктор	0,713	0,537	0,993	0,144

**5Д Методы моделирования потребного количества ремонтных  
позиций, бригад и режима их работы**

Изменение величины грузопотока требует периодической корректировки производственной мощности участков ТО-3, ТР-1 и НР локомотивов, так как эти участки депо работают с наибольшей нагрузкой, а их пропускная способность непосредственно влияет на пропускную способность железнодорожной линии.

Производственная мощность участков ТО и ТР формируется под влиянием множества производственно-технических и организационно-экономических факторов. Технологический уровень производства ТО-3, ТР-1 и НР является наиболее динамичным фактором, влияющим на изменение производственной мощности исследуемых ремонтных участков [120]. Совершенствование технологии производства ТО и ТР, улучшение технологичности, повышение уровня унификации и стандартизации конструкции локомотивов позволяют снизить трудоемкость обслуживаний и ремонтов, что незамедлительно сказывается на величине производственной мощности. К числу организационно-экономических факторов, влияющих на производственную мощность ремонтных участков следует отнести создание технологически и экономически обоснованного размера оборотных запасов деталей, узлов и агрегатов. Исследование этих факторов и мероприятия по оптимизации соответствующих подсистем приведены выше.

Однако, если все организационно-технические и экономические мероприятия по улучшению использования производственной мощности и соответственно по обеспечению эффективного функционирования существующей системы ремонтных участков исчерпаны, в этом случае следует считать целесообразным их количественное изменение (сооружение новых ремонтных позиций или реконструкция существующих). Увеличение количества ремонтных позиций, как известно, увеличивает интенсивность обслуживания Ц [77,127]. Однако стоимость единичного обслуживания резко возрастает за счет увеличения капитальных затрат. В соответствии с исследованиями, проведенными в разделе 4, как простой локомотивов, так и простой стойл связаны с определенными денежными потерями. Минимум суммы этих потерь соответствует экономически целесообразным соотношениям между графиковой периодичностью постановки локомотивов на ТО-3, ТР-1 и средней продолжительностью их выполнения.

Учитывая это, целесообразно исследовать поведение предложенной ранее целевой функции суммарных экономических издержек

$$U = C_1 * r + C_2 * L$$

в зависимости от изменения количества ремонтных позиций  $p$  при постоянных интенсивностях входного потока локомотивов ( $\lambda = \text{const}$ ) и потока обслуживания ( $\mu = \text{const}$ ). На рис.5.9 представлены зависимости  $U=U(n)$ . Одна из зависимостей построена при  $X= 0,12$  и  $C = 0,06$  (значения  $\lambda$  и  $C$  соответственно приняты по данным табл.4.2 и табл.4.4).

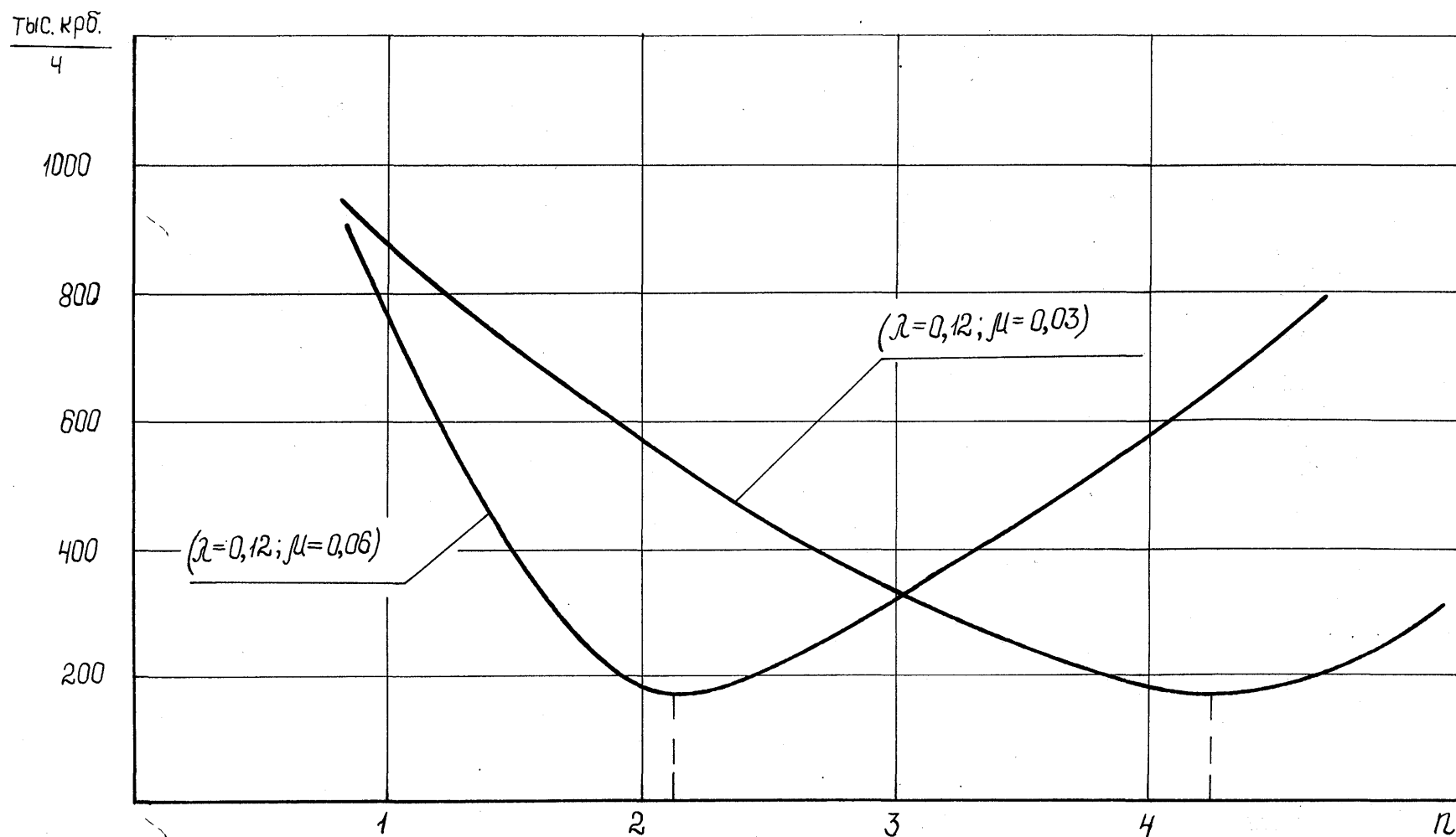
Коэффициенты  $C_1=143,35$  тыс.крб/Я и  $C_2=265,20$  тыс.крб/ч соответствуют значениям, обоснованным и полученным в разделе 4, т.е. предполагается, что стойла с комплексными бригадами ремонтников функционируют круглосуточно. При построении зависимости  $U=U(n)$  необходимо определить величину средней длины очереди локомотивов  $\Gamma$  и среднее число простаивающих ремонтных позиций  $L$ . Для этого использовались номограммы, приведенные на рис. 4.23, 4.24. Как видно из рис. 5.9 зависимость  $U=U(n)$  имеет четко выраженный минимум, которому соответствует экономически целесообразное число стойл. Учитывая, что количество стойл  $p$  - величина целочисленная, на основании зависимости  $U=U(n)$  выбирают оптимальный размер стойловой части для существующих условий эксплуатации и проведения ТО и ТР локомотивов в депо. В данном случае число ремонтных позиций следует принять равным двум. И в соответствии с рис.4.31 выбираем зависимость, по которой будем оценивать величину критерия качества управления.

Уровень использования производственной мощности ремонтных участков служит критерием напряженности их производственной деятельности, характеризует степень использования имеющегося производственно-экономического потенциала.

Однако в настоящее время в локомотивном депо сложилась тенденция недоиспользования стойловой части в системе участков ТО-3, ТР-1 и НР в связи со значительным падением грузопотока.

В результате проведенного в разделе 4 моделирования можно определить уровень использования или недоиспользования стойловой части депо в абсолютном виде (соответственно число занятых ремонтных ПОЗИЦИЙ  $Z$  или число простаивающих ремонтных позиций  $L$ ), или в процентном отношении

изменение целевой срунции суммарных затрат  $\xi$  заёисимости ат числа ремонтных стойл  
на



Рас. 59

(соответственно — \* 100% или — \* 100%),  

$$\frac{\text{П}}{\text{П}}$$

а также соответствующие значения критерия качества управления.

Эти результаты могут служить основанием для принятия управленческих решений руководством депо по обеспечению эффективного функционирования ремонтных участков. К числу таких решений относятся мероприятия по привлечению внешних заказов на проведение ТО и ТР локомотивам из других депо или из предприятий промышленного транспорта. Это увеличивает интенсивность входного потока и как следствие загрузку системы р.

В случае отсутствия внешних заказов при недоиспользовании стойловой части целесообразно пересмотреть регламент работы ремонтных бригад и перейти от круглосуточного режима работы комплексных бригад к двухсменному режиму их работы с использованием простаивающих ремонтных позиций. При этом возможны варианты : локомотив может простаивать в ночное время или при производстве ему ТО-3 (интенсивность поступления на ТО-3 значительно превышает интенсивность поступления на ТР-1 и НР согласно табл.4.2) два-три слесаря из ремонтной бригады завершают цикл работ ТО-3 и к началу первой смены локомотив освобождает ремонтное стойло.

При постоянной интенсивности входного потока локомотивов ( $X = \text{const}$ ) этому режиму работы соответствует увеличение времени простоя локомотива на стойле, т.е. уменьшение интенсивности обслуживания Ц. Как указывалось ранее, это одна из причин уменьшения интенсивности Ц в настоящее время. На рис.5.9 для сравнения приведена зависимость  $U = U(n)$  при прежней интенсивности входного потока  $\% = 0,12$  и интенсивности обслуживания  $\text{ц} = 0,03$ . При этом величина коэффициента  $C_1$  остается прежней, а величина коэффициента  $C_2$  усредненная за сутки практически в два раза меньше приведенной ранее. Количество ремонтных позиций  $n$ , соответствующей минимуму целевой функции  $U = C_1 * r + C_2 * L$ ; увеличивается (в данном случае количество стойл следует принять равным четырем), а величина суммарных издержек практически одинакова для двух рассматриваемых случаев.

При этом величина абсолютной пропускной способности системы ремонтных участков ТО и ТР для количества стойл  $n = 2$  при  $\% = 0,12$ ,  $C = 0,06$  и для  $n = 4$  при  $X=0,12$ ,  $c = 0,03$ , соответствующих каждому режиму работы, также практически одинакова. Для сравнения использовались номограммы для СМО М/Ез/2/4 и М/Е2/4/3 (рис.П.2 ). Величина абсолютной пропускной способности  $A$  для рассматриваемых случаев равняется  $A = 2,5$  лок/сут. Сравнение рассматриваемых вариантов по критерию качества управления в данном случае нецелесообразно, так как анализируемые системы находятся в неравных условиях из-за разной величины коэффициента  $C2$ .

Учитывая приведенные выше факторы, с точки зрения условий труда ремонтных бригад более приоритетным является двухсменный режим их работы на четырех ремонтных позициях. Однако при окончательном принятии решения об уменьшении производственной мощности участков ТО-3, ТР-1 и НР определяющим должен быть не экономический критерий. Необходимо учитывать, что локомотивное депо и примыкающая к нему участковая станция - предприятия, участвующие в едином технологическом процессе. Результатом их согласованной деятельности и связующим элементом является поезд. Поэтому основная задача локомотивного хозяйства состоит в обеспечении заданного размера перевозок народнохозяйственных грузов и пассажиров исправными локомотивами, соответствующими по своему техническому состоянию Правилам технической эксплуатации железных дорог (ПТЭ), снабженными топливом, водой, песком, смазочными и другими экипировочными материалами, а также укомплектованными обслуживающими локомотивными бригадами [5].

Т.е. в силу своего назначения (движение в составе поезда) и внутреннего состояния (необходимость проведения ремонтно-профилактических работ) эксплуатация локомотива состоит из двух, четко разграниченных, чередующихся интервалов - работы и технического обслуживания и ремонта. С этих позиций эксплуатация локомотивов представляет собой совокупность двух сфер деятельности - использования по назначению и поддержание исправного технического состояния.

Одним из показателей, устанавливающих соответствие между этими двумя сферами деятельности, как указано ранее в разделе 2, следует считать коэффициент технического использования локомотивного парка -  $K_{ти}$  который характеризует устойчивость функционирования системы.

Коэффициент технического использования локомотивного парка показывает, какая часть локомотивов в депо находится в работоспособном состоянии и используется по назначению. С учетом обозначений, принятых в разделе 2:

$$K_{ти} = \frac{7}{Z_n + Z_{21} + Z_{22} + Z_{23} + Z_{24} + Z_{31}} \quad (5-1)$$

или 
$$K_{ти} = 1 - (Z_{21} + Z_{22} + Z_{23} + Z_{24} + Z_{31}) / Z_q,$$

где  $Z_q = Z_n + Z_{21} + Z_{22} + Z_{23} + Z_{24} + Z_{31}$ .

Анализ выражения для  $K_{ти}$  свидетельствует о различной степени влияния процессов, связанных с проведением ТО, ТР и НР на величину  $K_{ти}$ . При этом наибольшее влияние на  $K_{ти}$  оказывают процессы ТО-3, ТР-1 и НР, так как это наиболее массовые виды обслуживаний и ремонтов [70]. При этом, как доказано ранее, неравномерность загрузки ремонтных позиций более характерна для неплановых ремонтов НР, ТО-3 и ТР-1 [102]. Выполнение крупных ремонтов ТР-2 и ТР-3 носит более установившийся характер.

Как показали исследования, приведенные в [70], значение коэффициента технического использования локомотивного парка  $K_{ти}$  при установившемся режиме эксплуатации находится в интервале

$$0,88 \leq K_{ти} \leq 0,94$$

То есть, от 88 до 94 процентов локомотивов в депо находятся в работоспособном состоянии и используются по назначению, а соответственно от 6 до 12 процентов находятся в депо на ТО, ТР и НР. Интервальная оценка  $K_{ти}$  более правомерна и обоснована в стохастических условиях изменения состояния системы, чем детерминистическая (точечная), не учитывающая влияние случайных факторов.

При оценке величины  $K_{ти}$  межремонтные периоды и время простоя на ТО и ТР соответствовали нормам, установленным приказом МПС N 28Ц от 20.06.86 г.

Переход от круглосуточного режима работы к двухсменному режиму работы с перерывом в ночное время при той же интенсивности поступления локомотивов из эксплуатации приводит к увеличению среднего времени обслуживания локомотива и как следствие к увеличению общего времени пребывания локомотива в депо при проведении ТО-3, ТР-1 и НР, т.е. к увеличению  $\dot{i}_{\text{сист}}$ . Для рассмотренных ранее случаев среднее время пребывания локомотивов в системе составило: при функционировании двух ремонтных позиций (СМО М/Ез/2/4) при  $X=0,12$  и  $\rho_D=0,06$  -  $\dot{i}_{\text{сист}} = 31$ ч; при функционировании четырех ремонтных позиций (СМО М/Е2М/3) при  $\rho_D=0,12$  и  $\rho_L=0,03$  -  $\dot{i}_{\text{сист}} = 42$  ч. Для оценки  $\dot{i}_{\text{сист}}$  использовались номограммы, приведенные на рис. II- 2 \* 9/ •

В соответствии с замечательной формулой Литтла: для любой системы массового обслуживания, при любом характере входного потока заявок (локомотивов), при любом распределении времени обслуживания, при любой дисциплине обслуживания число заявок (локомотивов) в системе равно среднему времени пребывания в системе, умноженному на интенсивность входного потока  $X$ , т.е. в принятых обозначениях

$$N_{\text{сист}} = \dot{i}_{\text{сист}} \cdot T_{\text{сист}} \quad (5.2)$$

Таким образом, переход к двухсменному режиму работы приводит к снижению величины  $K_{\text{ти}}$ . Уменьшение величины  $K_{\text{ти}}$  не должно быть более допустимого из условия наличия потребного количества локомотивов для выполнения заданных размеров движения.

С учетом формулы (5.2) получаем выражение для определения  $K_{\text{ти}}$

$$K_{\text{ти}} = \frac{N_{\text{сист}}}{X \cdot T_{\text{сист}}} = \frac{N_{\text{сист}}}{X \cdot (T_{\text{спст}} + Z_{23} + Z_{24})}$$

или 
$$K_{\text{ти}} = 1 - (X \cdot T_{\text{спст}} + Z_{23} + Z_{24}) / Z_q, \quad (5.3)$$

где  $X$  - интенсивность суммарного потока локомотивов, поступающих на ТО-3, ТР-1 и НР.

Анализ формулы (5.3) показывает, что зависимость  $K_{ти} = f(t_{сист.})$  представляет собой прямую с тангенсом угла наклона к оси абсцисс, равному  $- X/Z_q$  (рис.5.10). Полученная зависимость справедлива для любого размера парка локомотивов в депо.

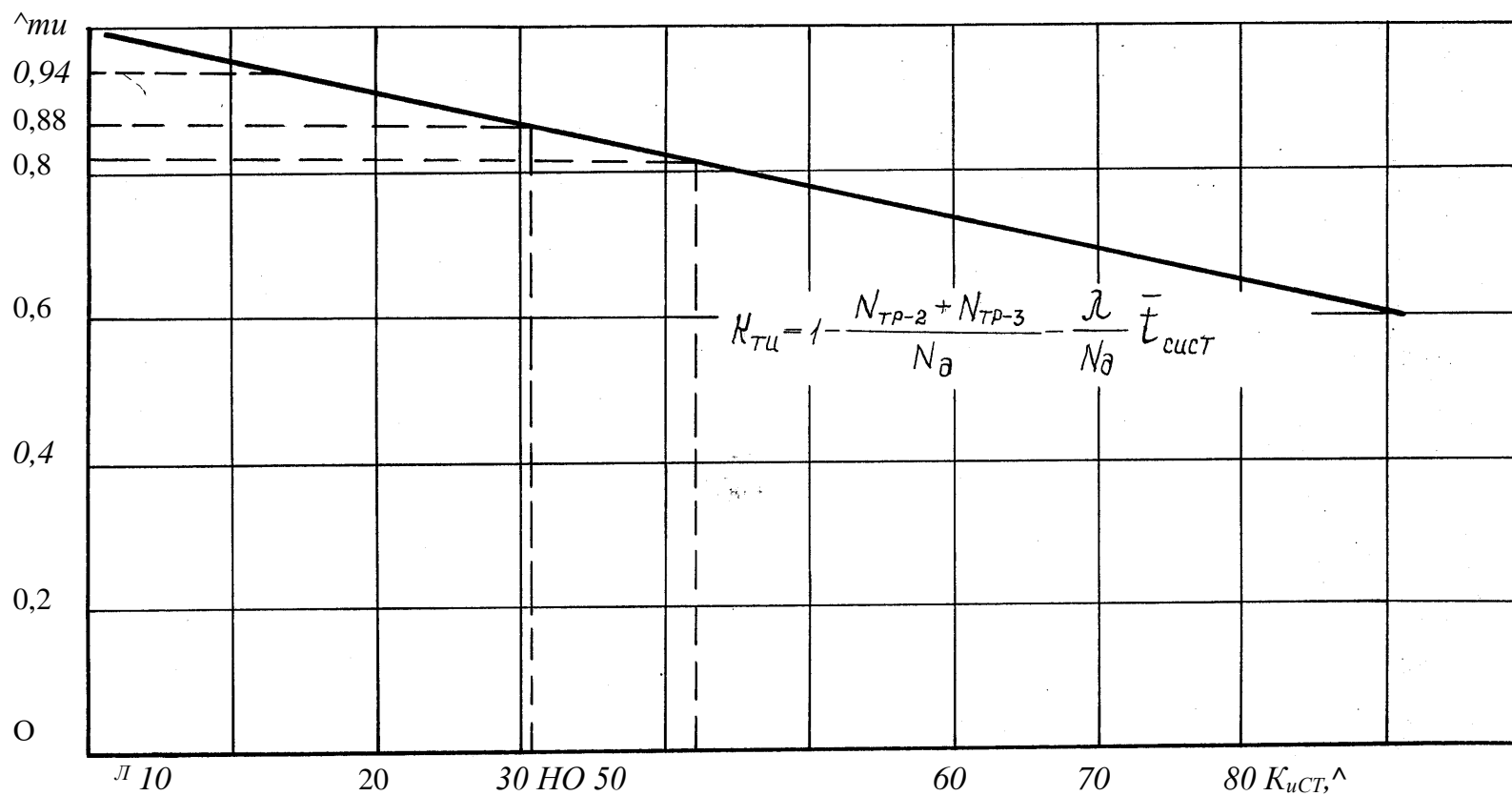
Увеличение  $t_{сист.}$  от 31 ч. при круглосуточном режиме работы до 42ч. при двухсменной работе приводит к снижению  $K_{т}$  соответственно с 0,88 до 0,83 (рис.5.10). Таким образом, в рассмотренных условиях при переходе к двухсменному режиму работы участков ТО-3, ТР-1 и НР значение  $K_{ти}$  находится за пределами нижней границы допустимой области своего изменения  $[0,88;0,94]$ , а размер реального эксплуатируемого парка меньше требуемого эксплуатируемого парка локомотивов, определяемого размерами движения. Поэтому с точки зрения обеспечения перевозочного процесса окончательное решение должно приниматься с учетом величины  $K_{ти}$ .

Однако в настоящее время в виду уменьшения грузопотока и соответственно уменьшения требуемого эксплуатируемого парка значительная часть работоспособных локомотивов оказалась отставленной в резерв. Как известно, резерв управления дороги ( РУД ) образуется из локомотивов, высвобождаемых в связи с улучшением их использования или сокращением размеров перевозок. А при необходимости локомотивы РУД используются для пополнения эксплуатируемого парка депо при увеличении размеров движения.

С учетом этого, а также проведенного выше сравнительного анализа функционирования системы ремонтных участков ТО-3, ТР-1 и НР в настоящее время становится целесообразным переход на двухсменный режим работы ремонтных бригад с использованием простаивающих стоек.

Таким образом, для обеспечения устойчивого функционирования системы “локомотивный парк - ремонтные участки ТО-3, ТР-1 и НР” необходимым является управление использованием производственной мощности на основании совместного анализа критерия качества управления  $D(t)$ , коэффициента технического использования локомотивного парка депо  $K^{\wedge}$ , а также других экономических и технических параметров, характеризующих производственную мощность.

*Изменение коэффициента технического использования локомотивного парка дело*



*Рис. 5. Ю*

## 6. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОПТИМАЛЬНОЙ

Исследования по оптимизации системы ремонта локомотивов выполнялись по заказу Главного управления локомотивного хозяйства Государственной администрации железнодорожного транспорта Украины ("Укрзалізниця"). Полученные результаты были доложены и переданы в производственное управление Главного управления локомотивного хозяйства. Рассчитанные структуры ремонтных циклов и нормативные межремонтные периоды для всех серий электровозов, тепловозов и моторвагонного подвижного состава, эксплуатируемых на железных дорогах Украины, легли в основу приказа №187Ц от 19 декабря 1995 г. Государственной администрации железнодорожного транспорта Украины "Об улучшении технического содержания и использования тягового подвижного состава" (Приложение *d*).

Расчет экономической эффективности от внедрения оптимальной системы цикличности и периодичности ТО, ТР и КР проведен на примере электровоза ЧС-7 в сравнении с системой цикличности и периодичности ТО, ТР и КР, выполнявшейся в соответствии с ранее действовавшим приказом №28Ц от 20.06.86.

Расчет выполнен при условии, что затраты на каждый из видов ремонта не изменялись для сравниваемых структур ремонтных циклов. Данные для расчета экономической эффективности предложенной системы ремонтов для электровозов ЧС-7 приняты по отчетным данным депо "Октябрь" Южной ж.д. на 15 мая 1996 г.

При определении годовой программы ремонтов электровозов ЧС-7 линейный пробег за год принят по данным депо "Октябрь"  $\Gamma M_{\text{ли1}} = 3944$  тыс. км. Число технических обслуживаний, текущих и капитальных ремонтов каждого вида  $M_i$  определяется по формулам:

$$M_i = \frac{Z_{MS_{iMH}}}{\text{КР-2}} \cdot \frac{\Gamma}{\text{КР-2}} >$$

$$M = \frac{MS_{\text{лин-}}}{i^{VI}_{\text{КР-1}} \tau} - M_{\text{КР-1}} \quad i^{VI}_{\text{КР-2}}$$

$$M \times \frac{MS_{\text{дни}}}{i^{VI}_{\text{ТР-3}} \tau} - \frac{L_{\text{ТР-3}}}{i^{VI}_{\text{КР-2}} i^{VI}_{\text{КР-1}} L}$$

$$\frac{N/T}{i^{VI}_{\text{ТР-2}} \tau} \frac{EMS_{\text{дии}}}{E_{\text{тр-2}}} - \frac{A_{\text{Д}}, \tau, \tau \tau}{i^{VI}_{\text{КР-2}} i^{VI}_{\text{КР-1}} i^{VI}_{\text{ТР-3}}}$$

$$M_{\text{jr-I}} \tau \cdot i^{\text{TM1}} - (M_{\text{кр-2}} + M_{\text{jr}^{\wedge}} + M_{\text{тр-3}} + M_{\text{ур-2}}),$$

бур-і

$$M_{\text{yo-3}} = \tau \quad (M_{\text{кр-2}} + M_{\text{jr}^{\wedge}} + M_{\text{ур-3}} + M_{\text{рр-2}} + M_{\text{ур-Д}})$$

^то-3

где  $M_{\text{jr-2}}$  ? Мщ)-!,  $M_{\text{ур-3}}$  ?  $M_{\text{ур-2}}$  ?  $M_{\text{урч}}$  и  $M_{\text{то-3}}$  - число капитальных, текущих ремонтов и технических обслуживаний в структуре ремонтного цикла, соответственно, КР-2, КР-1, ТР-3, ТР-2, ТР-1 и ТО-3;

$\text{бкр-2}$  ?  $L_{\text{ур}^{\wedge}}$ ,  $L_{\text{ур-3}}$ ,  $L_{\text{ур-2}}$ ,  $L_{\text{ур4}}$ ,  $L_{\text{то-3}}$  - пробеги между капитальными, текущими ремонтами и техническими обслуживаниями, соответственно КР-2, КР-1, ТР-3, ТР-2, ТР-1 и ТО-3.

Результаты расчетов количества и стоимости ТО, ТР и КР для системы нормативных межремонтных пробегов, выполнявшихся в соответствии с приказом №28Ц (вариант 1) и приказом №187Ц (вариант 2) сведены в табл. 6.1. Стоимости ТО, ТР и КР приведены на 15.05.96.

На основании данных, приведенных в табл. 6.1 определены годовые эксплуатационные расходы  $\text{Эр1}$  и  $\text{Эр2}$  на ремонт и содержание электровозов ЧС-7 для сравнения вариантов нормативных межремонтных пробегов по формуле [206-210]:

где  $i$  - номер вида планового ремонта:  $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$  соответственно для ТО-3, ТР-1, ТР-2, ТР-3, КР-1, КР-2;

$j$  - номер варианта:  $j = 1, 2$ ;

$C_{\text{рj}}$  - затраты на ремонт  $i$ -го вида (принимаются по данным табл. 6.1).

Годовая экономия приведенных затрат  $\mathcal{E}_{пр}$  определяется как разность приведенных затрат, для электровозов ЧС-7 депо Октябрь по первому и второму вариантам:

$$\mathcal{E}_{пр} = (\mathcal{E}_{p1} + E_n * K_1) - (\mathcal{E}_{p2} + E_n * K_2),$$

где  $K_1$  и  $K_2$  - капитальные затраты, соответственно для варианта 1 и варианта 2;

$E_n$  - нормативный коэффициент экономической эффективности дополнительных капитальных вложений,  $E_n = 0,15$ .

Увеличение пробега между ремонтами позволяет высвободить число электровозов за счет снижения простоев в ремонтах и числа ремонтов и тем самым получить экономию капитальных затрат и эксплуатационных расходов.

Количество высвобожденных электровозов  $vNT$  рассчитывается по формуле:

$$vNT = \frac{\sum_{i=1}^n vNT_i}{365},$$

$vNT$  - экономия локомотивосуток.

где

$$vNT_i = IM_i * t_{pi} - IM * t_{pi},$$

где  $t_{pi}$  - норма простоя электровоза в ремонте  $i$ -го вида;

$n$  - количество видов ТО, ТР и КР ( $n = 6$ ).

Стоимость высвобождаемых локомотивов определяется по формуле :

$$y_{ц_{жк} \wedge ц_{л}}$$

где  $ц_{л}$  - цена локомотива (в данном расчете цена электровоза ЧС-7 составляет 11,4 млрд. крб.).

Годовые эксплуатационные расходы на содержание и ремонт электровозов ЧС-7 рассчитывались с учетом экономии на реновационные отчисления от стоимости высвобожденных электровозов. Стоимости каждого вида ремонта приведены в табл.6.1.

Норма реновационных отчислений в части реновации на электровозы принята равной  $a_{рен} = 3,3 \%$ .

Величина экономии  
реновационных отчислениях  
определяется по формуле:

годовых эксплуатационных расходов в части  
от стоимости высвобожденных электровозов

$$Э_{пр} \Phi_{ЦлОК} * \&рен-$$

Преобразуя формулу для вычисления годовой экономии приведенных затрат.  
получаем

$$0_{пр} (\mathcal{E}_{р1} - \mathcal{E}_{р2}) + E_n * vN_{ЗОК}.$$

По результатам табл. 6.1:  $\mathcal{E}_{р1} = 96295,7$  млн.крб,  $\mathcal{E}_{р2} = 85785,2$  крб.

$$vN = \frac{vNT_{299,36-269,22}}{365} = \frac{30,14}{365} = 0,083$$

$$vU_{ЮК} = 0,083 * 11,4 = 0,95 \text{ млрд, крб} = 950 \text{ млн. крб.}$$

$$\mathcal{E}_{пр} = (96295,7 - 85785,2) + 0,15 * 950 = 10653 \text{ млн. крб.}$$

$$\mathcal{E}_{лр} = 950 * 0,033 = 31,35 \text{ млн. крб.}$$

Таблица 6.1

Исходные данные и результаты для определения годовых  
эксплуатационных расходов

Вид ремонта	Пробеги, тыс км. (электровоз ЧС-7)		Число ремонтов		Нормы простоя, сут	дойность ремонта, млн. крб.	Стоимости ремонтов, млн. крб.	
	По приказу №28Ц(Ц1i)	По приказу №187Ц(Ц2i)	По приказу №28Ц(М1i)	По приказу №187Ц(М2i)			По приказу №28Ц(Ц1i)	По приказу №187Ц(Ц2i)
ТО-3	14	15	140,85	131,47	0,25	64,852	9134,4	8526,1
ТР-1	28	30	118,32	111,74	0,63	118,43	14013,	13234
ТР-2	175	200	11,27	9,86	4	373,14	4205,3	3679,2
ТР-3	350	400	5,64	4,93	8	2211,79	12474,	10904,
КР-1	700	800	3,75	3,29	16	9729,9	36487,	32011,
КР-2	2100	2400	1,88	1,64	21	10628,2	19981,	17430,
Годовые эксплуатационные расходы							96295,	85785,

Как видно из вычислений и результатов, представленных в табл.6.1 эксплуатация электровозов ЧС-7 в депо Октябрь Южной ж.д. в соответствии с приказом №187Ц дает экономию годовых приведенных затрат в размере  $\mathcal{E}_{пр} = 10653$  млн.крб., в долларовом эквиваленте это составляет 54630,8 \$, что составляет 5,2% эксплуатационных расходов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе комплексно с единых методологических позиций решена научно-техническая проблема повышения эффективности технического содержания и использования локомотивного парка железных дорог Украины в современных экономических условиях путем совершенствования методов расчета и моделирования параметров системы технического содержания локомотивов, а также методов управления, развития и использования деповской ремонтной базы, обеспечивающих минимальные затраты. При этом получены следующие основные результаты:

1. Сравнительный анализ существующих методов расчета параметров системы технического содержания локомотивов показал:

- рассматриваемая проблема решалась в основном на уровне оптимизации отдельных подсистем (система технического обслуживания и ремонта (СТОР); развитие, управление и использование деповской ремонтной базы; совершенствование технологии проведения ТО и ТР) без теоретического обоснования механизмов их связей;

- существующие теоретические разработки по совершенствованию методов развития, управления и использования ремонтной базы были сориентированы на тенденцию увеличения грузопотока, и как следствие, на увеличение мощности ремонтной базы; в настоящих условиях при наличии больших избыточных мощностей по оборудованию и контингенту более приоритетными становятся задачи определения резервов производственной мощности, разработки методов эффективного использования и управления ею, строгой количественной оценки принимаемых управленческих решений о перепрофилировании малодейственных депо и концентрации производства ТО и ТР в других депо;

- при формировании рациональной СТОР необходимо более полно учитывать все виды затрат при проведении ТО и ТР, включая затраты, связанные с простоем

локомотива в целом, сбалансированность ремонтной базы по мощности и уровню технической оснащенности с потоком локомотивов, поступающих из эксплуатации.

2. На основании метода динамики средних с использованием принципа квазирегулярности разработана динамическая модель функционирования локомотивного парка депо, адаптированная к современным экономическим условиям. Необходимость разработки такой модели обоснована тем, что процесс функционирования локомотивного парка является связующим звеном всех подсистем, входящих в систему технического содержания локомотивов. Формально установлено, что конкретное развитие процесса изменения состояний локомотивного парка депо определяется видом и величиной интенсивностей  $\% k$  и  $\text{Цк}$ . Интенсивности  $k$  определяются действующей системой нормативных межремонтных пробегов и периодов. Интенсивности  $jK_g$  определяются характером и организацией процессов проведения ТО и ТР на ремонтных позициях.

3. Исследован характер изменения средних численностей состояний локомотивов, доказано существование установившегося режима при различных способах организации функционирования участков ТО и ТР (при отсутствии очереди на участках ТО и ТР; очередь ограничена величиной  $m$ ; очередь локомотивов может возрастать практически неограниченно).

4. Доказано, что установившиеся режимы являются устойчивыми по Ляпунову.

5. Введено понятие устойчивости функционирования системы "локомотивный парк в распоряжении депо - ремонтные участки" для характеристики степени сбалансированности состояний локомотивного парка с мощностью и эффективностью использования ремонтной базы. Количественной оценкой устойчивости функционирования является коэффициент технического использования локомотивного парка.

6. Исследованы коэффициенты готовности и технического использования локомотивного парка, а также деповского процента неисправных локомотивов для различных схем организации функционирования участков ТО и ТР при различных вариантах изменения грузопотока.

7. Для оценки качества функционирования участков ТО и ТР введены и определены критерии качества управления в двух модификациях: в форме отношения пропускных способностей и в форме отношений суммарных издержек на содержание ремонтных позиций и бригад и издержек от простоя локомотивов в ожидании ремонта для реальной системы ремонтных участков и системы ремонтных участков, функционирующих с минимально возможными затратами.
8. Разработана экономико-математическая модель на основе стохастических моделей массового обслуживания и программный комплекс для принятия решений о способах развития, использования и управления участками ТО и ТР. На основании статистических данных, собранных за период более 15 лет, определено множество входных данных, задающих динамику разработанных многофазного-многолинейных моделей. При этом основными классами распределений, задающих динамику моделей являются экспоненциальный и гиперэрланговские классы распределений.
9. Получены номограммы для определения основных параметров и резервов производственной мощности участков ТО и ТР.
10. Проведена проверка на адекватность аппроксимирующих и реальных моделей в терминах вероятностной метрики Леви -  $L$ , для чего разработаны соответствующие программы. Величина погрешности составляет не более 5 - 7 %.
11. Исследован характер изменения критериев качества управления и установлены экономически допустимые границы их изменения. Для оценки функционирования системы ремонтных участков во времени предложен интегральный критерий. Получены неравенства, при выполнении которых обеспечивается эффективное функционирование участков ТО и ТР за исследуемый период времени.
12. Разработана методика определения и формирования оптимальных размеров страховых и технологических запасов узлов, агрегатов и деталей для бесперебойного выполнения ТО и ТР с учетом стохастических закономерностей, присущих этому процессу. Разработаны соответствующие алгоритм и комплекс программ, получены номограммы для определения запасов. Исследован процесс формирования запасов, предложен метод определения оптимальных размеров партии агрегатов и узлов при отправке на ремонтный завод, обеспечивающий минимальные затраты.

13. Произведена оценка параметров эксплуатационной и ремонтной технологичности конструкции узлов и агрегатов тепловозов.

14. Разработан метод для исследования влияния изменения режима работы участков ТО и ТР на устойчивость функционирования системы "локомотивный парк в распоряжении депо - участки ТО и ТР".

15. Разработана методика формирования рациональной системы цикличности и периодичности ТО и ТР локомотивов с определением перечня работ на ТО и ТР, которая при максимальной надежности обеспечивает минимум затрат на восстановление узлов и деталей, на энергоносители, масло, проведение диагностики, простой локомотивов на ТО и ТР. Решения получены в численном и аналитическом виде для следующих законов распределения времени безотказной работ узлов и деталей: нормального, гамма-распределения, распределения Вейбулла. Методика реализована в виде программного комплекса.

16. Расчеты по определению оптимальных межремонтных пробегов и периодов проведены для всех серий локомотивов и МВПС, эксплуатирующихся на железных дорогах Украины. Полученные межремонтные пробеги превышают на 17 - 20% пробеги, заложенные в приказе №28Ц. Результаты расчетов положены в основу приказа №187Ц, действующего на железных дорогах Украины с 1.02.96. Величина деповского процента неисправных локомотивов, заложенная в приказе №187Ц, обоснована с помощью методов исследований предложенных в диссертации. Эксплуатация локомотивов в соответствии с сформированной оптимальной системой цикличности и периодичности дает экономию эксплуатационных проведенных затрат более 5,2% в сравнении с ранее действовавшей СТОР (приказ №28Ц).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Борисов Ю.С. Планово-предупредительный ремонт в промышленности СССР. - М.: Машгиз, 1949. - 84 с.
2. Единая система планово-предупредительного ремонта и рациональной эксплуатации технологического оборудования машиностроительных предприятий. / Подред. проф. М.О. Якобсона.-М.: Машиностроение, 1967.-479с.
3. Проников А.С. Повышение долговечности станочного парка. - М.: Высшая школа, 1961. - 155 с.
4. Типовая система планово-предупредительного ремонта оборудования. Л.: ОНТИ, 1937. - 224 с.
5. Локомотивное хозяйство: Учебник для вузов ж. -д. транс. /С.Я.Айзинбуд, В.А. Гутковский, П.И. Кельперис и др.; Под ред.С.Я. Айзинбуда. - М.: Транспорт, 1986. - 263 с.
6. Разработка технических требований по организации и оснащению цехов ТО-3 для поточного обслуживания магистральных тепловозов. / В.П. Иванов, В.И. Тютин, С.П. Данилов и др. - Отчет по теме 52О-Т-8О, - ВНИИЖТ, Р.1., - 1980. - 54 с.
7. Тартаковский Э.Д., Бутько Т.В, Галахов Н.А. Исследование возможности образования очередей при постановке тепловозов на обслуживание. // Деп. в ЦНИИТЭИ МПС. - №1786. - 1982. - 6 с.
8. Тартаковский Э.Д., Бутько Т.В. Моделирование пропускной способности участков технического обслуживания локомотивов. // Вестник ВНИИЖТ. - №5. - 1984. - с. 3 - 12.
9. Разработка технических требований по организации и оснащению цехов ТО-3 для поточного обслуживания магистральных тепловозов. / В.П. Иванов, В.И. Тютин и др. Заключительный отчет по теме 52О-Т-8О. - ВНИИЖТ. Р.1.-71С.
10. Совершенствование методов оперативного планирования поездной работы и эксплуатации локомотивов. / Труды ВНИИЖТа, вып.423. - М.: Транспорт, 1981. - 232 с.

11. Головатый А.Т., Лебедев Ю.А. Техническое обслуживание и ремонт локомотивов за рубежом. - М.: Транспорт, 1977. - 159 с.
12. Шанченко П.А. Техническое обслуживание и ремонт тягового подвижного состава на зарубежных железных дорогах. / ЦНИИТЭИ МПС. Сер. Локомотивы и локомотивное хозяйство. - Вып.2. - М.: 1988. - 24 с.
13. Организация ремонтов тепловозов на Британских железных дорогах. // ж.-д. трансп. за рубежом. Сер.2: ЭИ / ЦНИИ ТЭИ МПС. - 1985. - Вып. 1.-е. 16- 18.
14. Пахомов Э.А. Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта тепловозов с использованием методов и технических средств диагностики. // Автоматизация управления в тепловозном хозяйстве. Сб. научн. тр. / ВНИИЖТ. - 1980. -вып. 633.-е. 118-132.
15. Горский А.В., Воробьев А.А. Оптимизация системы ремонта локомотивов. - М.: Транспорт, 1994. - 208 с.
16. Реформа технического обслуживания подвижного состава в Германии. *И Железные дороги мира.* - 1995. - №8. - с. 14 - 21.
17. Новожилова Т.Н. Применение экспертных систем в оперативном управлении работой локомотивов и локомотивных бригад: Дисс. канд. техн. наук. - Харьков, 1996. - 215 с.
18. Маркин А.М., Буянов В.А. Стратегия научно-технической политики в новых условиях. *И Железнодорожный транспорт.*- 1995. - №8. - с. 2 - 7.
19. Техническое обслуживание, ремонт и хранение автотранспортных средств: Учебник: В 3 кн. - Киев: Выща шк., 1991. - Кн. 2. Организация, планирование и управление. / В.Е. Канарчук, А.А. Лудченко, И.П. Курников, И.А. Луйк. - 406 с.
20. Кузнецов Е.С. Методы оптимизации периодичности технического обслуживания и целесообразности проведения предупредительного ремонта. // *Автомобильная промышленность.*- 1965. - №6. - с. 10 -14.
21. Токарев Г.Г. Рациональные сроки службы автомобилей: М.: Автотранспорт, 1962. - 323 с.
22. Бедняк М.Н. Моделирование процессов технического обслуживания и ремонта автомобилей. - Киев: Выща школа. Головное изд-во, 1983, - 131 с.

23. Кузнецов Е.С., Сорокин В.А. Исследование работы поточных линии технического обслуживания автомобилей. - М.: Транспорт, 1966, - 92 с.

24. Руководство по организации и технологии технического обслуживания грузовых автомобилей с применением диагностики для АТП различной мощности (на примере автомобилей ЗИЛ-130). // Методические указания МУ-200-РСФСР-12-0139-81.

25. Дунаев А.П. Методика оптимизации работы систем обслуживания и ремонта с диагностикой автомобилей в АТП: Дисс. канд. техн. наук. - М.: 1976, - 123 с.

26. Луйк И.А. Теоретические основы планирования технической эксплуатации машинного парка. - Киев: Выща школа. Головное изд-во. - 1976, - 142 с.

27. Кузнецов Е.С. Техническое обслуживание надежности автомобилей. - М.: Транспорт, 1972, - 224 с.

28. Кузнецов Е.С. Исследование законов распределения случайных величин при технической эксплуатации машин. // Стандарты и качество. - 1966., №12, - 1968, №9, с.9.

29. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов. /Е.С.Кузнецов, В.П. Воронов, А.П. Болдин и др.: Под ред. Е.С. Кузнецова. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Транспорт, 1991. - 413 с.

30. Проектирование авторемонтных предприятий: Учеб. пособие./ Дехтеринский Л.В. Абелевич Л.А., Карагодин В.И. и др.; - М.: Транспорт, 1981, 218 с.

31. Лукинский В.С., Зайцев Е.И. Прогнозирование надежности автомобилей. - Л.: Политехника, 1991. - 224 с.

32. Клейнер Б.С., Тарасов В.Б. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей. Организация и управление. - М.: Транспорт, 1986. - 237 с.

33. Климов А.Н., Попова Л.Г. Организация ремонта производственного оборудования машиностроительных предприятий. - Л.: Машиностроение, 1988. - 144

с.

34. Лемин Ю.И., Тараненко В.А. Состояние и пути совершенствования системы технического обслуживания и ремонта авиационной техники. // Надежность и контроль качества. - 1975. - №111. - с. 32 - 40.
35. Самосейко В.Ф., Висленев Ю.С. Надбжность судового электрооборудования. - М.: Транспорт, 1986. - 168 с.
36. Смирнов Н.Н., Андропов А.М. и др. Эксплуатационная надежность и режимы технического обслуживания самолетов. - М.: Транспорт, 1974. - 207 с.
37. Совершенствование организации ремонта тягового подвижного состава (Франция). // Ж. -д. трансп. за рубежом. Сер. 2: ЭИ / ЦНИИТЭИ МПС, - 1985. - Вып. 1. - с. 18.
38. Халфин М.А. Определение межремонтных сроков службы машин в сельском хозяйстве. - М.: Колос, 1969. -239 с.
39. Миронов А.П., Сегал Л.Б. Техническое обслуживание машино-тракторного парка. - Л.: Колос. Лен. отделение, 1981, - 192 с.
40. Будниченко В.Б. Совершенствование организации и нормативов технической эксплуатации троллейбусов: Дисс. канд. техн. наук. - Киев, 1995. - 195 с.
41. Селиванов А.И. Основы старения машин. - М.: Машиностроение, 1971. - 408 с.
42. Исаев И.П. и др. Методологические основы определения оптимальной периодичности и объемов планово-предупредительных ремонтов электроподвижного состава. // Межвуз. сб. научн. тр. / МИИТ. - 1980. - Вып. 678: Подвижной состав и его автоматизация. - с. 96 - 130.
43. Исаев И.П., Журавлев С.Н., Седов В.И. Разработка оптимальной системы ремонта. // Железнодорожный транспорт - 1970. - №10. - с. 40 - 44.
44. Исаев И.П., Горский А.В., Воробьев А.А. Выбор измерителя наработки электровозов для определения ресурса изнашиваемых деталей. // Вестник ВНИИЖТ. - 1980. - №2. - с. 19 - 22.
45. Кабенин Н.Г., Коновалов В.П., Озембловский В.Ч. Оптимальная периодичность технических осмотров тяговых электродвигателей НБ-412М. // Вестник ВНИИЖТ. - 1965. - №5. - с. 30 - 34.

46. Лугинин Н.Г., Домбровский К.И., Подшивалов А.Б. и др. Система ремонта тепловозов и надежность работы их агрегатов // Исследование системы ремонта и надежности узлов тепловозов. Сб. научн. тр. / ВНИИЖТ. - 1971. - вып. 427. - с. 38 - 78.
47. Павлович Е.С., Серегин А.А., Четвергов В.А. Определение оптимальных пробегов тепловозов между ремонтами. // Тр. ОмИИТ, том 87, - Омск, 1968. -102 с.
48. Павлович Е.С., Четвергов В.А. и др. К оптимизации межремонтных сроков деталей и узлов тепловозов. // Исследование надежности деталей и узлов тепловозов. Сб. научн. тр. / ОмИИТ - 1970 - т. 111. - с. 9 - 17.
49. Галкин В.Г., Парамзин В.П., Четвергов В.А. Надежность тягового подвижного состава. - М.: Транспорт, 1981. - 184 с.
50. Подшивалов А.Б., Шанченко П.А. О корректировке межремонтных пробегов тепловозов.// Вестник ВНИИЖТ. - 1985. - №1. - с. 30 - 33.
51. Ридель Э.Э. Система планово-предупредительных ремонтов электровозов и электропоездов. Учебное пособие. - М.: ВЗИИТ, 1983. - 62 с.
52. Электроподвижной состав. Эксплуатация, надежность и ремонт: Учебник для вузов ж. -д. трансп. / А.Т. Головатый, И.П. Исаев, П.И Борцов и др.; Под ред. А.Т. Головатого и П.И. Борцова. - М.: Транспорт, 1983. - 350 с.
53. Горский А.В. Определение оптимальных сроков проведения планово-предупредительных ремонтов элементов ЭПС на основе информации о параметре потока отказов. // Исследование работы электрического и механического оборудования электроподвижного состава. Сб. научн. тр. / МИИТ. - 1972. - №405. - с. 58 - 70.
54. Горский А.В. Методы оптимизации системы планово-предупредительных ремонтов электровозов: Дисс. докт. техн. наук; Утв. 25.09.87; 05860001751. - М.: 1985. - 526 с.
55. Горский А.В., Воробьев А.А. Построение оптимальной системы планово-предупредительных ремонтов электровозов ВЛ80 и ВЛ 80. ЦНИИТЭИ МПС. Серия "Локомотивы и локомотивное хозяйство". Ремонт локомотивов, вып. 5, 1989, с. 15 - 37.

56. Горский А.В., Воробьев А.А. Оптимизация системы ремонта локомотивов. - М.: Транспорт, 1994. - 208 с.

57. Босов А.А. Теоретические основы и методика расчета рациональных плановых восстановлений локомотивов и вагонов: Дисс. докт. техн. наук. 05.22.07; Утв. 20.01.89; 05870000959. - Днепропетровск, 1986. - 271 с.

58. Воробьев А.А. Оптимизация периодичности и объемов плановых ремонтов ЭПС и прогнозирование его технического состояния: Дисс. докт. техн. наук. - М.: 1992. - 361 с.

59. Оптимизация планов о-предупредительной системы ремонта. / Игин В.Н. *И Локомотив.* - 1994. - №11. - с. 29, 30.

60. Гридюшко В.О. Исследование надежности грузовых вагонов и пути повышения их работоспособности.// Тр. ЦНИИ МПС. М.: Транспорт. - 1979. - Вып. 524. - 166 с.

61. Устич П.А., Моксаков А.П. Организация периодичности плановых видов ремонтов грузовых вагонов. // Вестник ВНИИЖТ. - 1987, - №6. - с. 36 - 38.

62. Совершенствование работы вагонного хозяйства в новых условиях. / Аверин В.Н., Карелина М.В., Мироненко В.И., Устич П.А.; Мос. гос. ун-т путей сообщ. - М.; 1994. - 12 с. - Деп. в ЦНИИ ТЭИ МПС 19.12.94, №5979 ж.д. 94.

63. Хамоев А.Д., Мартынюк Н.Г. Формирование системы ремонта и технического обслуживания подвижного состава на железнодорожном транспорте. *И Вестник ВНИИЖТ.* - 1994. - №3. - с. 43 - 47.

64. Тартаковский Э.Д. Научные основы и разработка поточной технологии диагностирования и технического обслуживания тепловозов: Дисс. докт. техн. наук. - М.: 1984, 317 с.

65. Ридель Э.Э. Диагностика подвижного состава. // ж. -д. трансп. - 1987. - №3.-с. 46-51.

66. Беленький А.Д., Белоглазов А.Д. Техническая диагностика - важное средство повышения надежности тепловозов. / На средне-аз. ж. д. *И ж. -д. трансп.* - 1983. - №9. - с. 54-59.

67. Внедрение новых технологий в депо. // Ж.д.мира. -1994.- №12.- с. 33- 39.

68. Озембловский В.Ч. Методические основы интенсификации использования и развития деповской базы ремонта магистральных электровозов: Дисс. докт. техн. наук. - М.: 1987, 443 с.
69. Сенько В.И. Обоснование долгосрочных тенденций функционирования и развития базы деповского ремонта грузовых вагонов: Дисс. докт. техн. наук. - М.: 1989, 300 с.
70. Павлов Н.К. Оценка технического состояния и использования локомотивного парка по обобщенным показателям надежности: Дисс. канд. техн. наук. - М.: 1987, 136 с.
71. Седов В.И. Принципы совершенствования системы обслуживания электровозов на основе анализа внезапных отказов в эксплуатации: Дисс. канд. техн. наук. - М.: 1987, 136 с.
72. Лопатин Н.Н. Расчет числа ремонтных позиций в депо. // Железнодорожный транспорт, 1980. - №1. - с. 62 - 63.
73. Математико-статистическая оценка параметров съема продукции с ремонтной позиции. / Муравьев С.Н.; Моск. гос. ун-т путей сообщ. - М., 1995. -8с.-рус. - Деп. в ВИНТИ 29.5.95. №1552-В95.
74. Венгерский Е. Вероятностные методы в проектировании транспорта. - М.: Транспорт, 1979. - 320 с.
75. Лещинский Е. Имитационное моделирование на железнодорожном транспорте. - М.: Транспорт, 1977, - 176 с.
76. Корбан В.В., Просвиров Ю.Б. Термодинамический подход в управлении эксплуатацией и ремонтом тепловозных двигателей. // Межвуз. сб. научн. тр. / Омск. - 1983.-№6. -с. 22-24.
77. Вентцель Е.С. Исследование операций. - М.: Сов. радио, 1972. - 552 с.
78. Динер И.Я. О некоторых направлениях развития исследования операций. // Морской сборник. - 1970. - №1. - с. 39 - 47.
79. Тараканов К.В., Овчаров Л.Н., Тарышин А.П. Аналитические методы исследования систем. - М.: Сов. радио, 1974. - 240 с.
80. Стратонович Р.Л. Условные марковские процессы и их применение к теории оптимального управления. - М.: Наука, 1966. - 376 с.

81. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология. - М.: Наука, 1980. - 208 с.
82. Платонов Г.А., Файнберг М.А., Штильман М.С. Поезда, пассажиры и ... математика. - М.: Транспорт, 1977. - 158 с.
83. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. - М.: Гос. изд. физ.-мат. лит., 1959, - 916 с.
84. Нелепин Р.А. Точные аналитические методы в теории нелинейных автоматических систем. - Л.: Наука, 1967. - 403 с.
85. Ляпунов А.М. Общая задача об устойчивости движений. - М. - Л.: Гос. изд. физ.- мат. лит., 1950. - 317 с.
86. Былов Б.Ф. и др. Теория показателей Ляпунова и ее приложение к вопросам устойчивости. - М.: Наука, 1966. - 493 с.
87. Бесекерский В. А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. Кн. 1 - 2. - М.: Наука, 1967. - 526 с.
88. Ла-Салль Ж., Левшец С. Исследование устойчивости прямым методом Ляпунова. Пер. с англ. - М.: Мир, 1964. - 458 с.
89. Жалкин С.Г., Бутько Т.В., Фонф В.П. Оптимизация работ при техническом обслуживании тепловозов в депо. // Моделирование процессов обслуживания, диагностирования и ремонта подвижного состава. Межвуз. сб. науч. тр. Харьков: ХИИТ, 1989. - Вып. 8. - с. 8 - 12.
90. Ефименко В.И., Ставров Т.В., Бутько Т.В., Найш Н.М. Методика формирования вариантов технологических процессов ТО-3 тепловозов. // Надежность тепловозов и путевых машин. Труды ВНИТИ. - Коломна, 1989. - вып. 70. - с. 26 - 31.
91. Бутько Т.В., Методика выбора оптимальных объемов и периодичностей проведения ТО-3 и ТР-1 с прогнозированием ресурса ответственных сборочных единиц магистральных тепловозов. // Управление технической эксплуатацией локомотивов. Межвуз. сб. науч. труд. Харьков: ХИИТ, 1992. - Вып. 20. - с. 13 - 20.
92. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. - М.: Наука, 1965. - 524 с.

93. Проников А.С. Основы надежности и долговечности машин. - М.: изд-во Комитета стандартов, 1969. - 275 с.
94. Герцбах И.Б., Кордонский Х.Б. Модели отказов. - М.: Сов. радио, 1966. - 168 с.
95. Вейбулл В. Усталостные испытания и анализ их результатов. - М.: Машиностроение, 1964. - 394 с.
96. Шор Я.Б., Кузьмин Ф.И. Таблицы для анализа и контроля надежности. - М.: Сов. радио, 1968. - 288 с.
97. Хан Г., Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах. - М.: Мир, 1969. - 398 с. .
98. Кузьмин Г.С. Таблицы для оценки функции распределения наработок по цензурированным наблюдениям. // Надежность и контроль качества. - 1983. - №7. - с. 14 - 20.
99. Кузьмин Ф.И. Задачи и методы оптимизации надежности. - М.: Сов. радио, 1972. - 224 с.
100. Левин Б.Р. Теория надежности радиотехнических систем (математические основы). - М.: Сов. радио, 1978. - 264 с.
101. Ллойд Д., Линов М. Надежность. Организация исследования, методы, математический аппарат. - М.: Сов. радио, 1964. - 686 с.
102. Бутько Т.В. Определение мощности участков технического обслуживания магистральных тепловозов: Дисс. канд. техн. наук. - М.: 1987. - 190 с.
103. Тартаковский Э.Д., Бутько Т.В., Ефименко В.И., Наши Н.М. Методика корректировки объемов и технологии обслуживания тепловозов для повышения надежности. // Повышение надежности тепловозов и диагностика. Сб. научн. тр. ВНИТИ. - Коломна, 1987. - Вып. 66. - с. 19 - 28.
104. Разработка методов оптимизации объемов ТО-3 и ТР-1 тепловозов. / Тартаковский Э.Д., Бутько Т.В. - Отчет по научно-исследовательской работе. - ХИИТ, 1986. - №ГР.01840017695. - 132 с.

105. Тартаковский Э.Д., Бутько Т.В., Ефименко В.И. и др. Метод расчета объемов технологических операций ТО-3 и ТР-1 тепловозов с применением ЭВМ. И Деп. в ЦНИИ ТЭИ МПС. - №3586. - 1986. - 4 с.

106. Тартаковский Э.Д., Бутько Т.В., Ефименко В.И., Ставров Т.В. Оптимизация затрат на обслуживание и ремонт тепловозов 2ТЭ116 по данным эксплуатации. // Деп. в ЦНИИ ТЭИ МПС. - №3567. - 1986. - 5 с.

107. Корректировка объемов ремонтных работ на ТО-3 и ТР-1 тепловозов 2ТЭ10М. / Тартаковский Э.Д., Бутько Т.В., Кухарева Г.А. - Отчет по научно-исследовательской работе. - ХИИТ, 1987. - №ГР.01870 052756. - 91 с.

108. Разработка интенсивной технологии технического обслуживания ТО-3 и текущего ремонта ТР-1 тепловозов. / Тартаковский Э.Д., Бутько Т.В., Кухарева Г.А., - Отчет по научно-исследовательской работе. - ХИИТ, 1987. - №ГР.01870 047923. - 121 с.

109. Разработка методики технического обслуживания ТО-3, позволяющей увеличить межремонтные пробеги между ТО-3 тепловозов 2ТЭ116. / Тартаковский Э.Д., Бутько Т.В., Кухарева Г.А. - Отчет по научно-исследовательской работе. - ХИИТ, 1987. - №ГР.018700118999. - 70 с.

110. Комплект документов на технологический процесс при ремонте ТР-1 тепловозов 2ТЭ116. / Э.Д. Тартаковский, Т.В. Бутько и др. - Отчет по теме №ГР.01900021396, ХИИТ, 1990. - 71 с.

111. Комплект документов на технологический процесс при ремонте ТО-3 тепловозов 2ТЭ116. / Э.Д. Тартаковский, Т.В. Бутько и др. - Отчет по теме №ГР.01900021396, ХИИТ, 1990. - 60 с.

112. Комплект документов на технологический процесс при ремонте ТР-1 тепловозов ТЭП70. / Э.Д. Тартаковский, Т.В. Бутько и др. - Отчет по теме №ГР.01900021396, ХИИТ, 1990. - 133 с.

113. Комплект документов на технологический процесс при ремонте ТО-3 тепловозов ТЭП70. / Э.Д. Тартаковский, Т.В. Бутько и др. - Отчет по теме №ГР.01900021396, ХИИТ, 1990. - 109 с.

114. Оптимизация технических систем транспорта (на примере гражданской авиации). / А.В. Дабагян, Е.Г. Гитаев, А.Е. Голосков, Е.Ф.Косиченко. - М.: Транспорт, 1990.-286 с.
115. Воробьев А.А. Выбор измерителя наработки и определения периодичности ремонтов электровозов: Дисс. канд. техн. наук. - М.: 1981. - 225с.
116. Исаев И.П., Горский А.В., Воробьев А.А. Факторный анализ процесса изнашивания деталей ЭПС. // Вестник ВНИИЖТ. - 1980. - №3. - с. 22 - 26.
117. Пугачев В.С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления. - М.: Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1957.- 659 с.
118. Пугачев В.С., Казаков И.Е., Евланов Л.Г. Основы статистической теории автоматических систем. - М.: Машиностроение, 1974. - 400 с.
119. Транспортные узлы (Определение мощности устройств). / Под ред. Скалова К.Ю., Стефаненко М.Н., Попова Н.Ф. - М.: Транспорт, 1985. - 200 с.
120. Пашенко В.Н., Трубачев Т.Е. Производственная мощность предприятий железнодорожного транспорта. - М.: Транспорт, 1986. - 120 с.
121. Козлов И.Т. Пропускная способность транспортных систем. - М.: Транспорт, 1985. - 214 с.
122. Тартаковский Э.Д., Бутько Т.В. Моделирование поточного обслуживания локомотивов с приоритетами. // Вестник ВНИИЖТ. - 1982. - №5. - с. 12 - 16.
123. Тартаковский Э.Д., Бутько Т.В. Модель поточной линии обслуживания локомотивов с приоритетами. // Деп. в ЦНИИ ТЭИ МПС. - №2428. - 1984. - 5 с.
124. Тартаковский Э.Д., Бутько Т.В. Задача выбора варианта технологического процесса. // Деп. в ЦНИИ ТЭИ МПС. - №2430. - 1984. - 6 с.
125. Бутько Т.В., Ефимов С.Е. Исследование резервов пропускной способности участков технического обслуживания лкомотивов. // Деп. в ЦНИИ ТЭИ МПС №3281. - 1986.- 6 с.
126. Бутько Т.В., Ефименко В.И., Пузырь В.Г., Карпюк В.А. Разработка моделей функционирования ремонтных участков тепловозов в депо с диагностикой. // Совершенствование конструкции, технологии, эксплуатации и ремонта Подвижного состава. Межвуз. сб. научн. трудов. - Харьков: ХИИТ, 1987. - вып. 2.-е. 17 - 22.

127. Саати Т. Элементы теории массового обслуживания. - М.: Сов. радио, 1965.- 510 с.
128. Калашников В.В., Рачев С.Т. Математические методы построения стохастических моделей обслуживания. - М.: Наука, 1988. - 312 с.
129. Кокс Д., СмитУ. Теория очередей. - М.: Мир, 1966. - 218 с.
130. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. - М.: Машиностроение, 1979.- 362 с.
131. Konig D.,Stoyan D. Methoden der Bedienungstheorie. - Akademie - Verlag, Berlin, 1976. -p. 314.
132. Хинчин А.Я. Работы по математической теории массового обслуживания. - М.: Наука, 1963. - 526 с.
133. Кофман А., Крюон Р. Массовое обслуживание. Теории и приложения. -М.:Мир, 1965.-302 с.
134. Исследование операций. Методологические основы и математические методы, т. 1. / Под ред. Дж. Моудера, С. Элмаграби. М.: Мир, 1981. - 712 с.
135. Риордан Дж. Вероятностные системы обслуживания. - М.: Связь, 1966. - 184 с.
136. Kendall D.G. Stochastic Processes Occurring in the Theory of Queue and Their Analysis by the Method of Imbed ded Markov Chains, Ann, Math. Stat., 1953. - pp. 338 -354.
137. Кузнецов В.Я., Бутько Т.В., Козлов Ю.А. Исследование потока поступлений тепловозов в капитальный ремонт. // Межвуз. сб. научн. труд. - Ростов - на - Дону: РИИЖТ, 1983. - вып. 169. - с. 22 - 25.
138. Коваленко И.Н., Сарманов О.В. Краткий курс теории случайных процессов. - Киев: Вища школа, 1978. - 264 с.
139. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. - М.: Высшая школа, 1977. - 479 с.
140. Ивченко Г.И., Медведев Ю.И. Математическая статистика. - М.: Высшая школа, 1984. - 248 с.
141. Крамер Г. Математические методы статистики.- М.: Мир, 1975.- 648 с.

142. Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. - М.: Высшая школа, 1975. - 334 с.

143. Разработка предложений по обеспечению ритмичной работы поточной линии технического обслуживания ТО-3 тепловозов. / В.П. Иванов., В.И. Тютин., А.Б. Подшивалов и др. - Отчет по теме 520-Т-82. ВНИИЖТ, Р-2, 1982. - 88 с.

144. Методика определения пропускной способности цехов технического обслуживания ТО-3 и текущего ремонта ТР-1 при поточной организации ремонта тепловозов. Заключительный отчет по теме 520-Т-83. ВНИИЖТ, Р.2а, 1983. - 69 с.

145. Kendall D.G. Some recent work and further problems in the theory of queues, 1964. - Т. IX, №1.-pp. 3-15.

146. Kendall D.G., Lewis L. On the structural information contained in the output of GI/G/. // Wahrscheinlichkeitstheorie verw. Geb. - 1965. - н. 4. - pp. 144 - 148.

147. Кендалл Д., Стюарт А. Статистические выводы и связи. / Пер. с англ. - Мир, 1973. - 899 с.

148. Цициашвили Г.Ш. Устойчивость многолинейных систем обслуживания относительно возмущений определяющих их функций распределения. // Изв. АН СССР. - Техн, кибернетика, 1972. - №2. - с. 49 - 54.

149. Калашников В.В. Качественный анализ поведения сложных систем методом пробных функций. - М.: Наука, 1978. - 312 с.

150. Цициашвили Г.Ш. Кусочно-линейные цепи Маркова и исследования их устойчивости. // Теория вероятн. и ее примен. - 1975. - Т. XX, №2. - с. 345 - 358.

151. Золотарев В.М. Идеальные метрики в проблеме аппроксимации распределений сумм независимых случайных величин. // Теория вероятн. и ее примен. - 1977. - Т. XXII, №3. - с. 449 - 465.

152. Золотарев В.М. Метрические расстояния в пространствах случайных величин и их распределений. // Мат. сб. - 1976. - Т. 101, №3. - с. 416 -454.

153. Золотарев В.М. Современная теория суммирования независимых случайных величин. - М.: Наука, 1986. - 416 с.

154. Прохоров Ю.В. Сходимость случайных процессов и предельные теоремы теории вероятностей. // Теория вероятн. и ее примен. - 1956. - Т. 1, №2. - с. 177 - 238.

155. Dudley R.M. The speed of mean Glivenko-Cantelli convergence. // Ann. Math. Statist. - 1969. - v. 30, №1. - pp. 40 - 50.
156. Рачев С.Т. О минимальных метриках в пространстве вещественных случайных величин. // ДАН СССР. - 1981. - Т. 251, №5. - с.2067 - 2070.
157. Dudley R.M. Probability and matrices. - Aarhus Univ., 1976. - p. 308.
158. Канторович Л.В., Рубинштейн Г.Ш. Об одном пространстве вполне адаптивных функций. // Вестник ЛГУ, сер. матем., мех. и астроном. - 1958. - Т. 2, №7. - с. 52 - 59.
159. Калашников В.В. Решение задачи об аппроксимации счетной цепи Маркова. // Изв. АН СССР, Техн, кибернетика. - 1978. - №3. - с. 92 - 95.
160. Калашников В.В. Организация моделирования сложных систем. - М.: Знание (сер. Математика, Кибернетика), 1982. - 56 с.
161. Кантарович Л.В., Крылов В.И. Приближенные методы анализа. - М.; Л.: Физматгиз, 1962. - 410 с.
162. Калашников В.В., Рачев С.Т. Характеризация моделей массового обслуживания и ее устойчивость. // Проблемы устойчивости стохастических моделей. - М.: ВНИИСИ, 1984. - с. 49 - 86.
163. Бутыко, Тартаковский Э.Д. Оценка погрешностей в расчетах пропускной способности участков технического обслуживания локомотивов. // Вестник ВНИИЖТ, №2, - 1986. - с. 25 - 27.
164. Полляк Ю.Г. Общие вопросы моделирования РЛС. // Моделирование в радиолокации. - М.: Сов. радио, 1979. - 216 с.
165. Полляк Ю.Г. Вероятностное моделирование на ЭВМ. - М.: Сов. радио, 1971.-400 с.
166. Корн Г. Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Определения, теоремы, формулы. - М.: Наука, Изд. 2-е, 1978. - 832с.
167. Организация движения на железнодорожном транспорте. /Д.П.Заглядинов, А.П. Петров, Е.С. Сергеев, В.Я. Буянов. - М.: Транспорт, 1971. - 528 с. •
168. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. - М.: Высшая школа, 1982. - 231 с.

169. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. - М.: Наука, 1978. - 399 с.
170. Снапелев Ю.М., Староселецкий В.А. Моделирование и управление в сложных системах. - М.: Сов. радио, 1974. - 264 с.
171. Юдин Д.Б. Методы качественного анализа сложных систем. - Известия АН СССР. Техническая кибернетика, 1965. - №1. - с. 3 - - 13; 1966. - №1. - с. 3 - 16.
172. Тараканов К.В., Овчаров Л.Н., Тарышин А.Н. Аналитические методы исследования систем. - М.: Сов. радио, 1974. - 240 с.
173. Поттгофф Г. Учение о транспортных потоках. - М.: Транспорт, 1975. - 344 с.
174. Немчинов В.С. Экономико-математические методы и модели. - М.: Мысль, 1965.-478 с.
175. Моисеев Н.Н. Элементы теории оптимальных систем. - М.: Наука, 1975. - 342 с.
176. Современное состояние теории исследования операций. / Под ред. Н.Н. Моисеева. - М.: Наука, 1979. - 464 с.
177. Попырин Л.С. Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических установок. - М.: Энергия, 1978. - 416 с.
178. Кузнецов В.Я., Бутько Т.В., Кухарева Г.А. Методика определения технологического запаса агрегатов в депо. // Управление технической эксплуатацией локомотивов. Межвуз. сб. научн. тр. Харьков: ХИИТ, 1992. - вып. 20. - с. 54 - 58.
179. Бутько Т.В., Кузнецов В.Я., Чигладзе Д.В. и др. Методика определения страховых запасов основных узлов и агрегатов локомотивов. // Совершенствование конструкции, эксплуатации и ремонта локомотивов. Межвуз. сб. научн. тр. Харьков: ХИИТ, 1993. - вып. 22. - с. 57 - 61.
180. Королюк В.С., Портенко В.И., Скороход А.В. Справочник по теории вероятностей и математической статистике. - Киев: Наукова думка, 1978.- 582 с.
181. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский Н.В. Курс теории вероятностей и математической статистики - М · Наука 1965 - 511 с

182. Факторович М.А. Выбор уровня рациональной загрузки ремонтной базы технического обслуживания и текущего ремонта электровозов: Дисс. канд. техн. наук. -М.: 1986. - 156 с.

183. Методические указания по определению параметров потребности в технически необходимом резерве и обменном фонде тяговых электродвигателей на ремонтных предприятиях Министерства путей сообщения СССР. РД32. - М.: ВНИИЖТ, 1985. - с. 20.

184. Геронимус Б.Л. Экономико-математические методы в планировании на автомобильном транспорте. - М.: Транспорт, 1982. - с. 192.

185. Исследование операций. Модели и применения. Т. 2. / Под. ред. Дж. Моудера, С. Элмаграби. - М.: Мир, 1981. - 677 с.

186. Brown R.G. Smoothing, Forecasting and Prediction, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.Y., 1963.-p. 268.

187. Brown R.G. Decision Rules for Inventory Management, Holt, Rinehart and Winston, N.Y., 1967. - p. 177.

188. Brown R.G. Management Decision for Production Operations, Dryden, 1971. - p. 84.

189. Dvoretzky A. Kiefer J., Wolfowitz J. The Inventory Problem, Econometrica XX, 1952. - pp. 187 - 222 and pp.450 - 466.

190. Gerson G.,Brown R.G. Decision Rules for Equal Shortage Policies, Nav. Res. Log. Quart., 1970. - №3. - pp. 351 - 358.

191. Балабанов А.Н. Технологичность конструкций машин. - М.: Машиностроение, 1987. - 334 с.

192. Технологичность конструкции изделия: Справочник. / Ю.Д. Амиров, Т.К. Алферова, П.Н. Волков и др.; Под общей ред. Ю.Д. Амирова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1990. - 768 с.

193. Обеспечение технологичности конструкции. / Сост. А.В. Дербишер. - М.: Издательство стандартов, 1976. - 80 с.

194. Соболев В.М., Котов В.М. Определение ремонтпригодности электроподвижного состава. // Повышение надежности, совершенствование обслуживания и ремонта ЭПС. Сб. научн. тр.: ВНИИЖТ, 1986. - с. 28 - 36.
195. Михлин В.М., Диков К. И., Стариков В.М. Эксплуатационная технологичность конструкции тракторов. - М.: Машиностроение, 1982. - 253 с.
196. Технологичность конструкций изделий: Справочник. / Под ред. Ю.Д.Амирова. - М.: Машиностроение, 1985. - 368 с.
197. Рахматулин М.Д. Технология ремонта тепловозов: Учебник для вузов. - М.: Транспорт, 1983. - 319 с.
198. Тепловоз 2ТЭ10М. Руководство по эксплуатации. М.: Транспорт, 1985. - 421 с.
199. Тепловоз 2ТЭ116. / С.П. Филонов, А.И. Гибалов, В.Е. Быковский и др. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Транспорт, 1985. - 328 с.
200. Сборник типовых норм времени на слесарные работы при техническом обслуживании и текущем ремонте механического оборудования электровозов и тепловозов. - М.: Транспорт, 1985. - 200 с.
201. Смирнов Н.Н. Вопросы ремонтпригодности машин. - М.: Знание, 1970. - 83 с.
202. Правила текущего ремонта и технического обслуживания электровозов постоянного тока. ЦТ 13745. - М.: Транспорт, 1980. - 240 с..
203. Правила текущего ремонта и технического обслуживания электровозов переменного тока. ЦТ 3164. - М.: Транспорт, 1975. - 270 с..
204. Красковская С.Н., Ридель Э.Э. Техническое обслуживание и ремонт электровозов постоянного тока в депо. - М.: Транспорт, 1980. - 429 с.
205. Бутько Т.В. Исследование и оценка показателей эксплуатационной и ремонтной технологичности конструкций тепловозов. // Совершенствование конструкции, эксплуатации и ремонта локомотивов. Межвуз. сб. научн. тр. Харьков: ХИИТ, 1993. - Вып. 22. - с. 22 - 26.

206. Методические указания по определению технико-экономической эффективности новых и усовершенствованных электровозов. // Отв. за выпуск Э.И. Хайт. МПС. - М.: Транспорт, 1986. - с. 119.

207. Методические рекомендации по определению экономической эффективности мероприятий научно-технического прогресса на железнодорожном транспорте. / ВНИИЖТ МПС. - М.: Транспорт, 1991. - 239 с.

208. Луговой П.А., Цыпин Л.Г., Аукуционек Р.А. Основы технико-экономических расчетов на железнодорожном транспорте. - М.: Транспорт, 1973. - 232 с.

209. Методические указания по определению экономической эффективности новой техники, изобретений и рационализаторских предложений на железнодорожном транспорте. / МПС. - М.: Транспорт, 1980. - 144 с.

210. Методика определения экономической эффективности маневровых и промышленных тепловозов РТМ 24.040.016. - М.: 1981. - 194 с.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

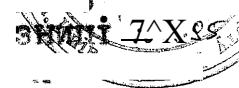
## Приложение 1

### МАТЕРИАЛЫ ПО ВНЕДРЕНИЮ

ДОСТУПНИХ начальника Рол^  
 ржомо^о складу-начальни'  
 управління локомотивного  
 господарства Удпзали:  
 МАТЕРІАЛ

ж^уШавління

Пдастовець АД,



по ? в.провадженню результатів докторсько? дисертації Вутко Т.Ве

В потееі виконання науково-дослідної госпдоговірної роботи  
 Розробка програмного забезпечення для розрахунку міжремонтних про-  
 бігів локомотивів з урахуванням економічної доцільності" / ^Держ.рег.  
 0193У024272/ виконаній в Харківській Державній академії залізничного  
 транспорту за завданням Укрзалізниці під керівництвом ведучого ту-  
 кового співробітника, кандидата технічних наук Вутико ТеВ. була  
 розроблена методика Формування системи технічних обслуговувань та  
 поточних ремонтів локомотивів з вибором оптимально? циклічності  
 та періодичності ТО та ПР.

За кпітерій оптимізації вибрані показники надійності, економ-  
 ного використання матеріалів, пального, енергії, трудових та фі-  
 нансових ресурсіве

Проведене моделювання відповідно запропонованої методики  
 для локомотивів серій 2Т011Г, ТЕ1170\* ЧМЕЗ, ЧС-2, ЧС-7 показало,  
 що для залізниць України міжремонтні пробіг? локомотивів доціль-  
 но збільшити на І5-2СГ в порівнянні з існуючих

Управління локомотивного господарства Укрзалізниці одержало  
 програмне забезпечення з можливістю подальшого використання для  
 тягового рухомого складу залізниць України.

Розроблена методика і програмне забезпечення використано  
 Укрзалізницею ти розробці керівних технічних матеріалів по  
 коректуванню міжремонтних пробігів локомотивів.

Замісник начальника

Управління локомотивного господарства

'Укрзалізниці

А Аліголенко



МАТЕРИАЛЫ

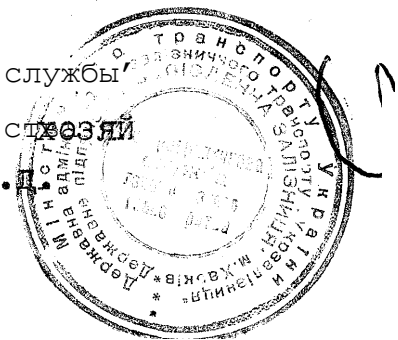
по внедрению докторской диссертации

Буцько Т.В.

В процессе выполнения научно-исследовательских хозяйственных работ, выполненных в Харьковской государственной академии железнодорожного транспорта с рядом депо Южной ж.д. под руководством к.т.н. Буцько Т.В. на основании разработанных методик и программного обеспечения, был сформирован целый ряд комплектов технологической документации для проведения ТО-3, ТР-1, ТР-2 и ТР-3 тепловозов 2ТЗІІ6, ТЭП70, электровозов ВЛ-ІІ.

Разработанные комплекты технологической документации с проведением технической и метрологической экспертиз переданы в депо Южной ж.д.

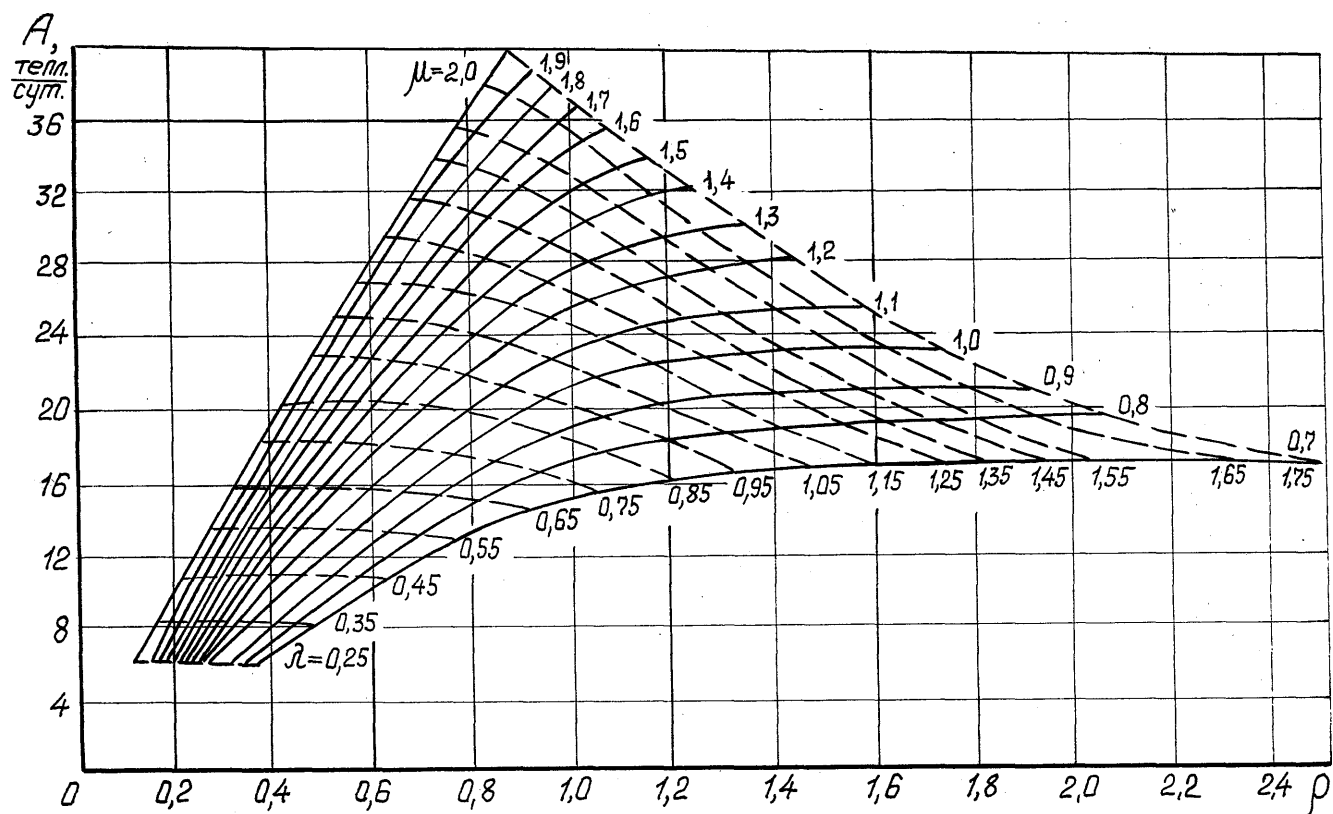
Начальник службы  
Локомотивного хозяйства  
Южной ж.д.



В.Н.Остапчук

**НОМОГРАММЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ  
МОЩНОСТИ УЧАСТКОВ ТО И ТР  
ЛОКОМОТИВОВ**

Номограмма для определения абсолютной пропускной способности участка для СМО М/Е // (6)



Рас. П. 2 Л

## Номограмма для определения абсолютной пропускной способности

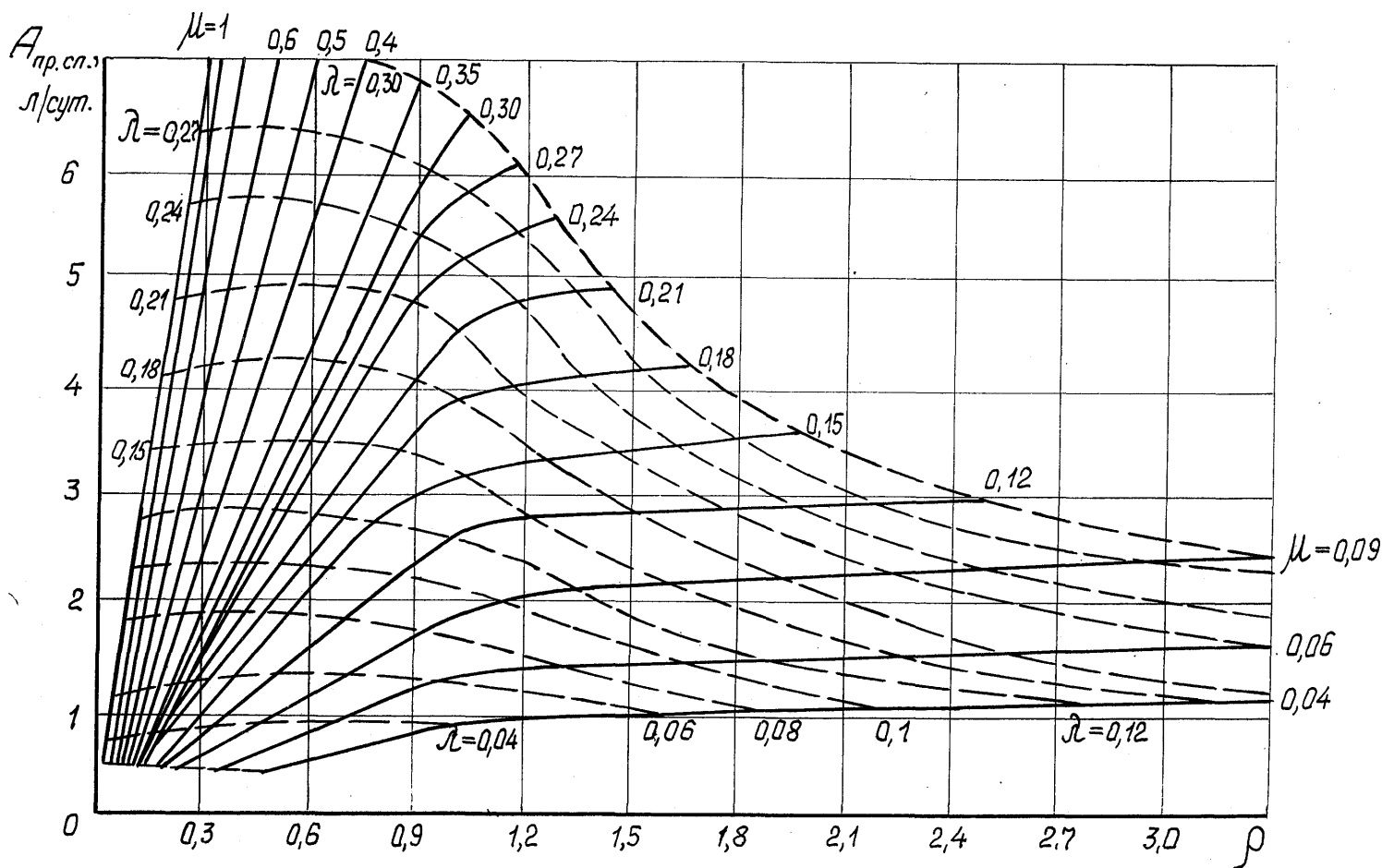


Рис. 17.2.2

Номограмма для определения величины ёремвмм ожидания теплоёзоё для СМО И /E^ [1(5)

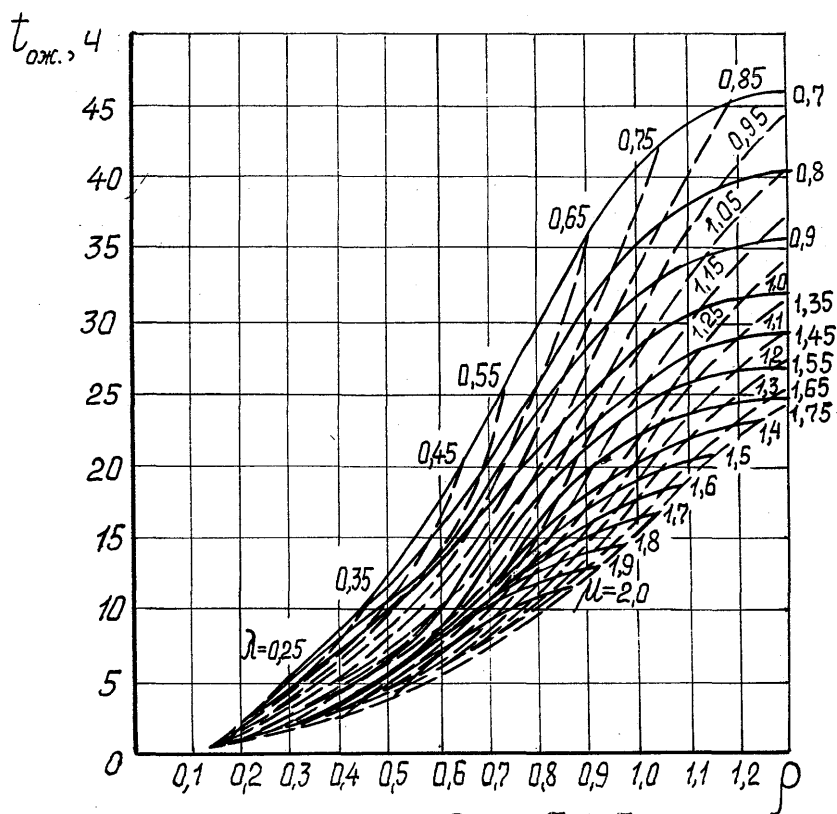


Рис. П. 2.3

Номограмма для определения величины общего времени предьёания теплоёзоё ёсистеме для СМОQME^ 1(B)

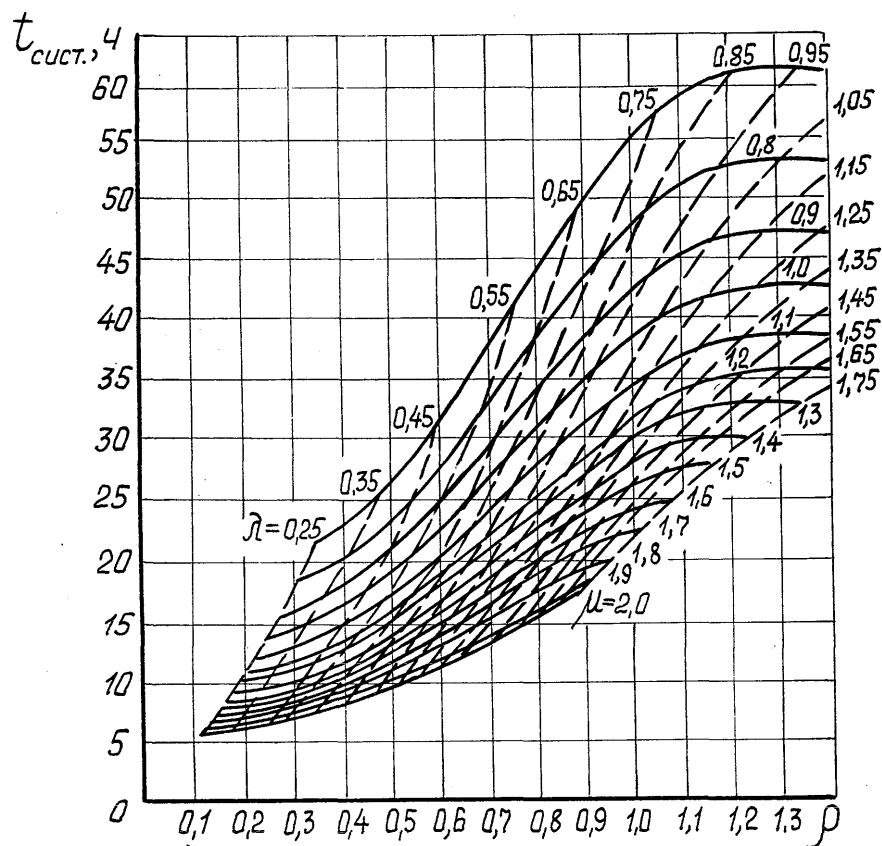


Рис. П. 2.4

Номограмма для определения абсолютной пропоенной способности

СМД

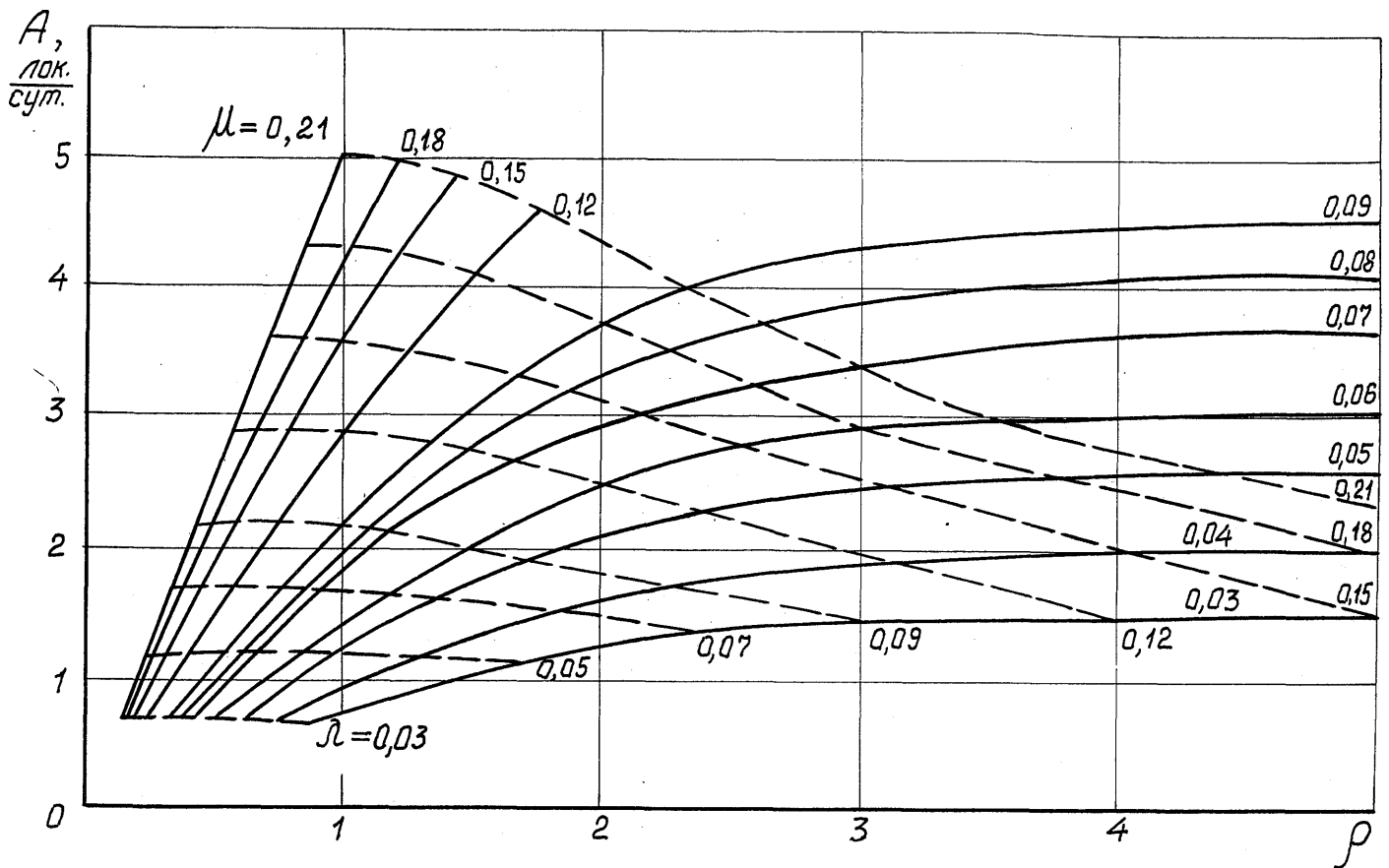


Рис. П. 2. 5

Номограмма для определения абсолютной пропускной способности участка для СМО М/Е<sub>3</sub>[2(4)]

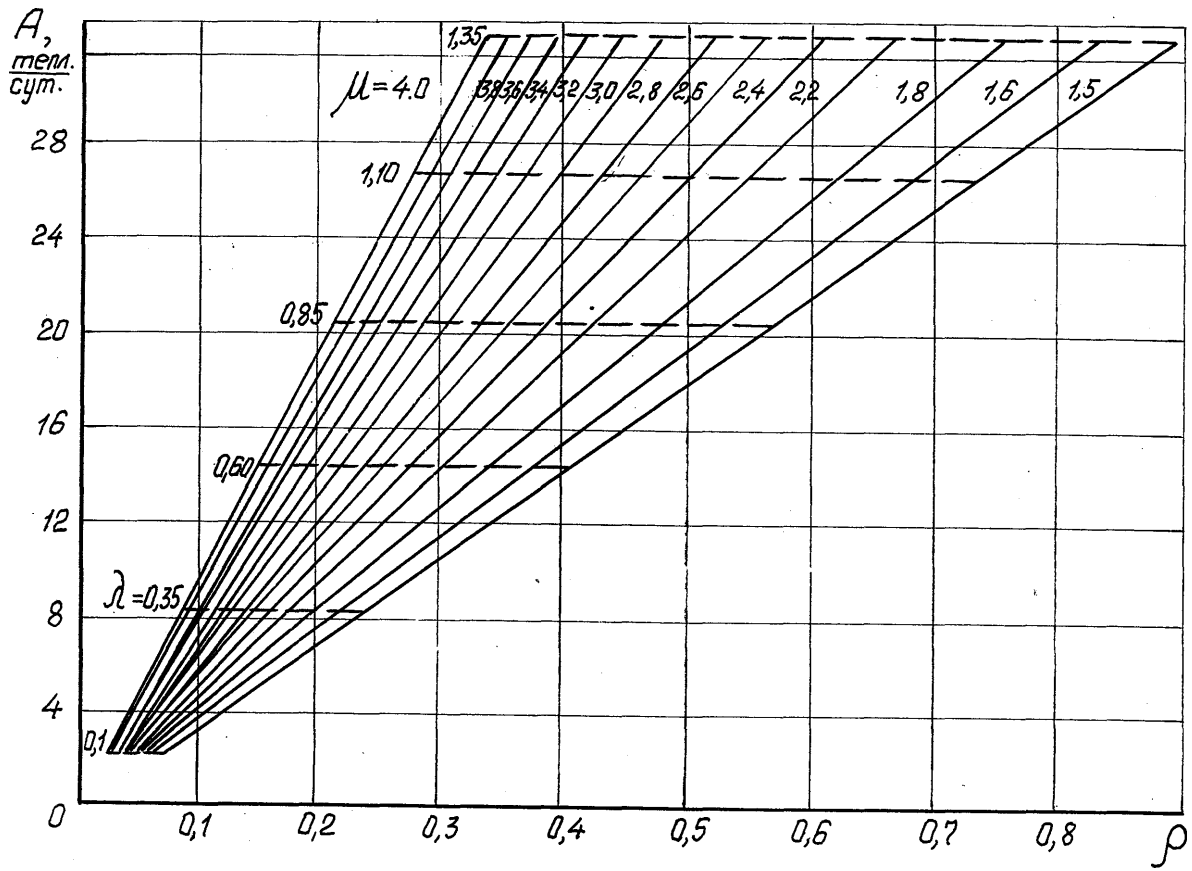


Рис. П. 2. в

Номограмма для определения беличины времени ожидания теллабоза для СМО м/Е<sub>3</sub>e(4)

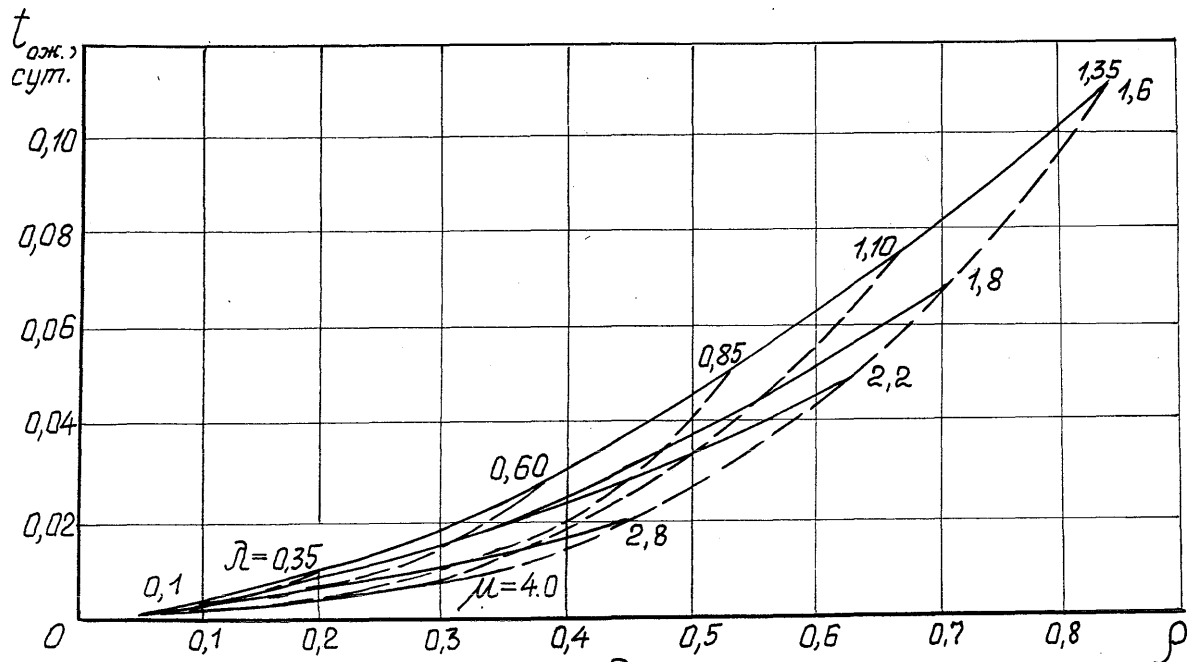


Рис. П. 2. г

Номограмма для определения величины общего времени преёёния теплоёзоё Ё системе для СМО И/Е / 2(4)

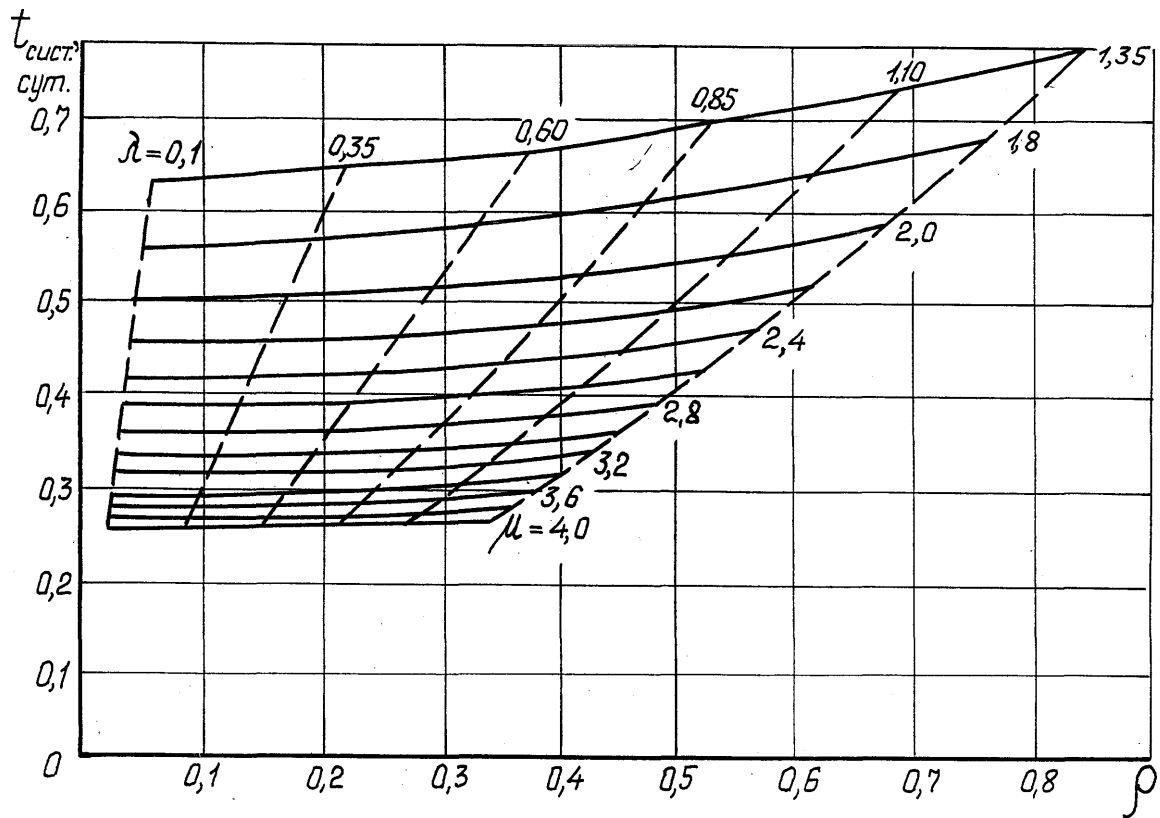


Рис. 17.2Я

Номограмма для определения общего времени преёёния теплоёзоё Ё системе для СМО И/Е<sub>3</sub> / 2 (4)

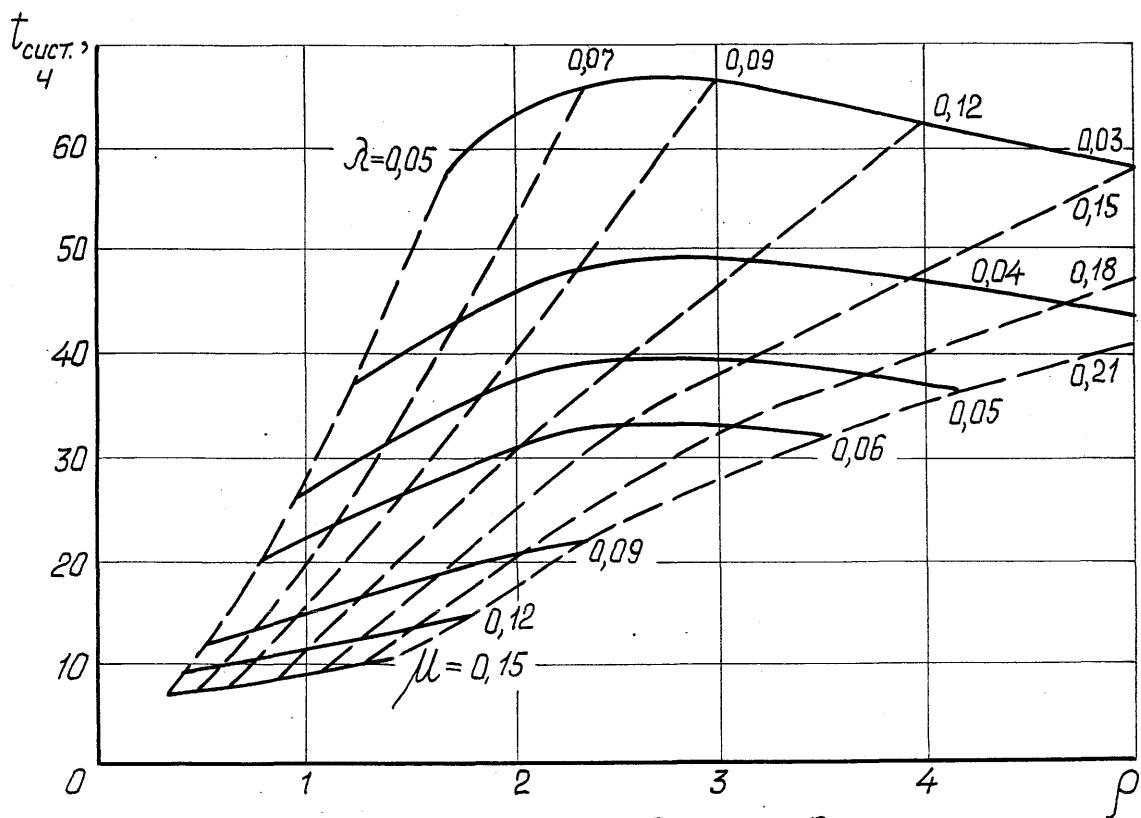


Рис. 17.2.9

Номограмма для определения абсолютной пропрейной способности СМО И/Еj 4 (3)

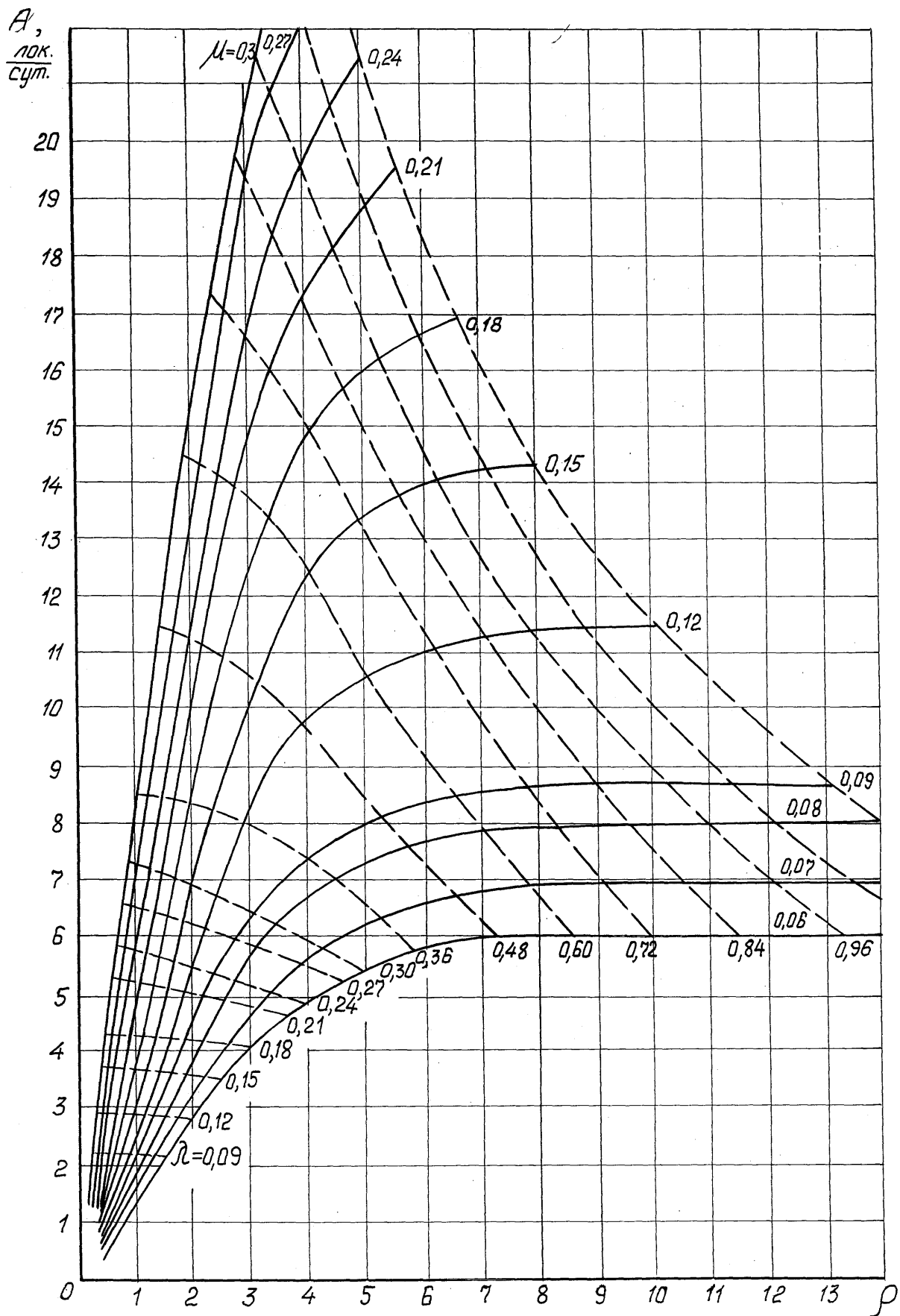


Рис. П.2.10

Номограмма для определения величины общего времени пребывания  
тепlobозоб

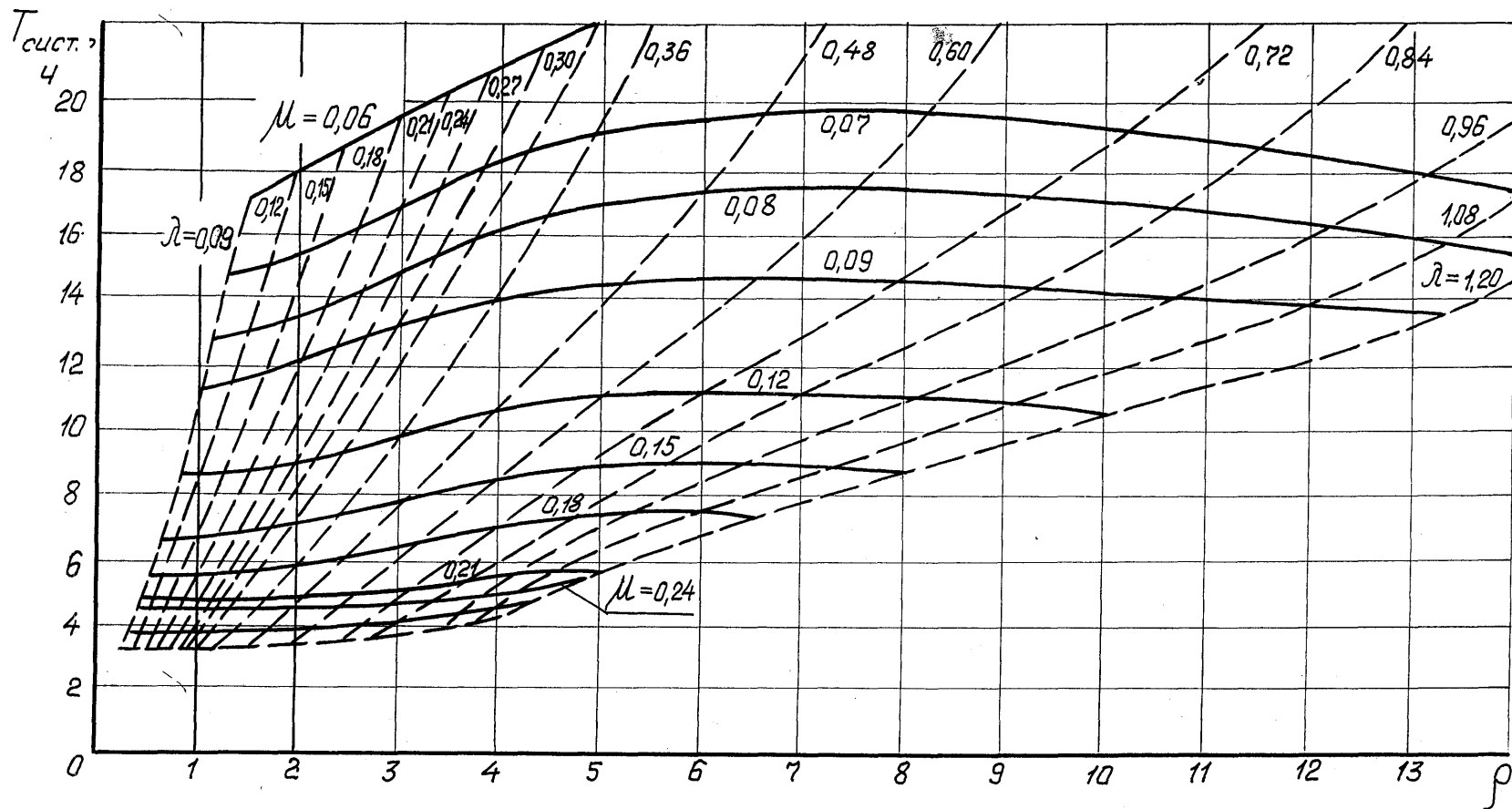


Рис. 17.2.11

Номаграмма для определения времени ожидания  
в СМО  $M/E_2/4(3)$

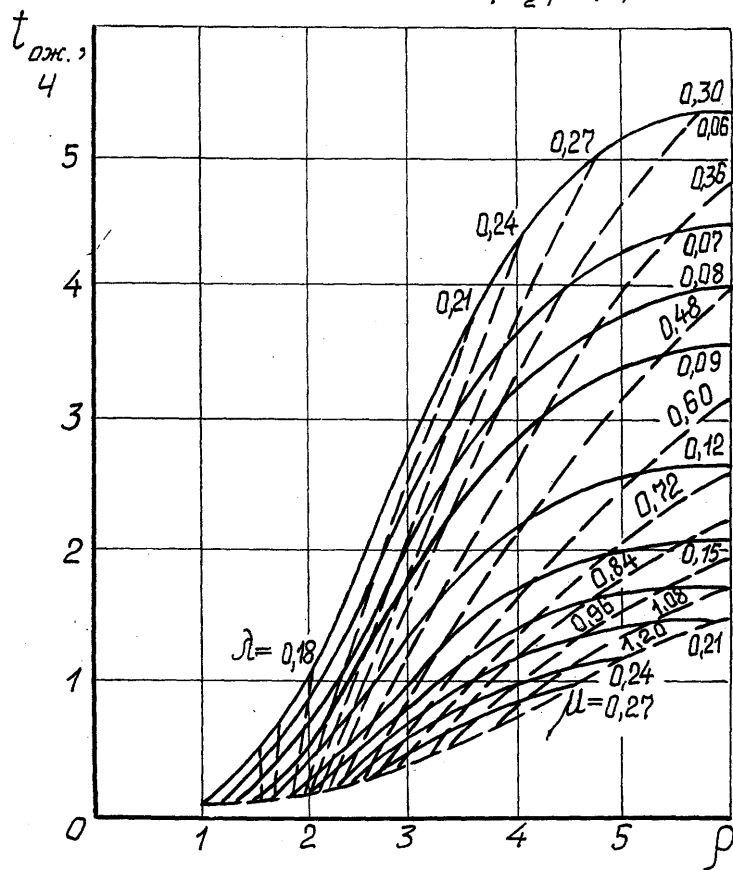


Рис. П. 2. 12

Номаграмма для определения времени ожидания  
в СМО  $M/E_3/2(4)$

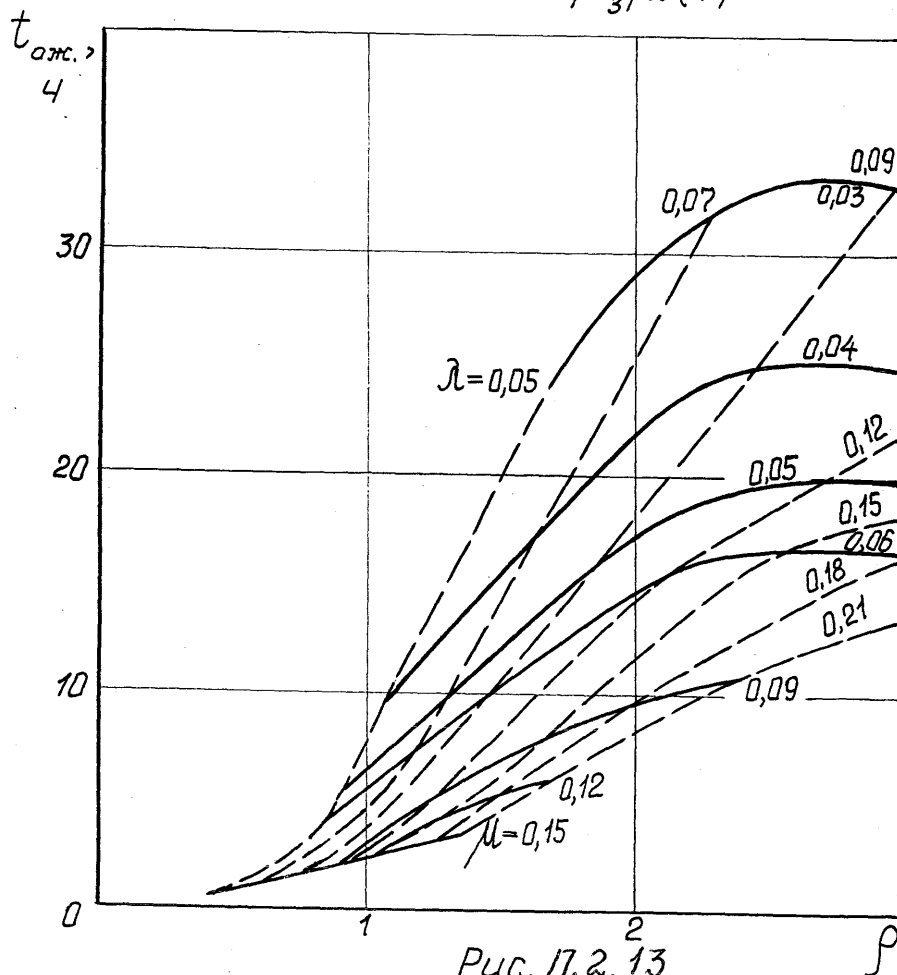


Рис. П. 2. 13

Диаграмма отказов подшипникового узла редуктора  
электровоза ЧС-7

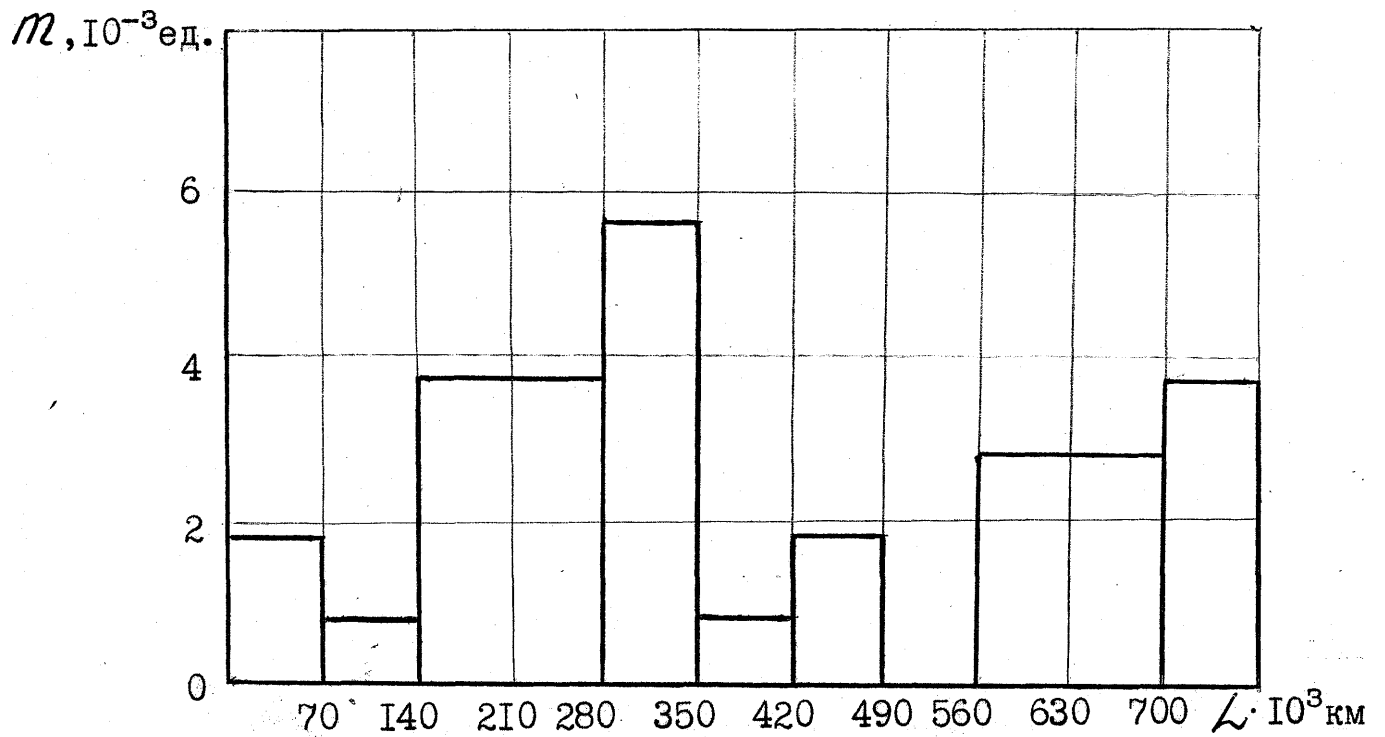


Рис. П.2.14

Диаграмма отказов шарнирного узла ка:/рданной передачи  
электровоза ЧС-7

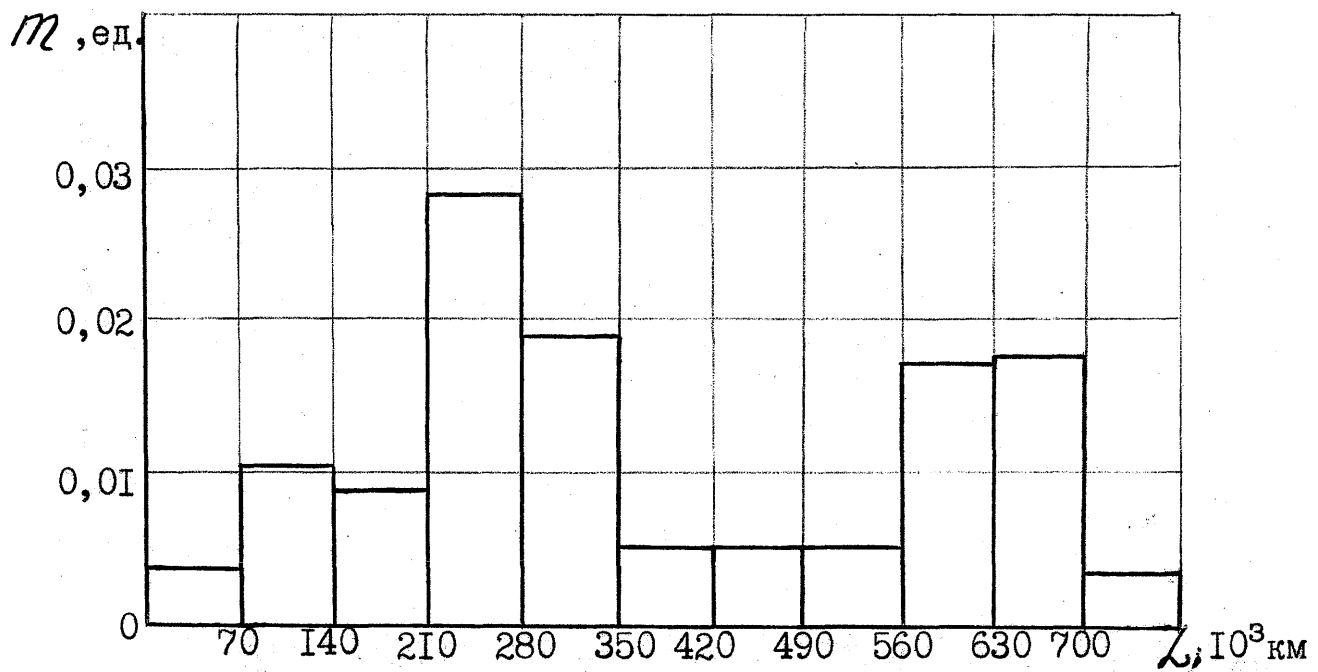


Рис. П.2.15

Диаграмма распределения причин неплановых ремонтов  
электровозов ЧС-7 из-за неисправности электроаппаратов  
за 1993-01.95 г.г.

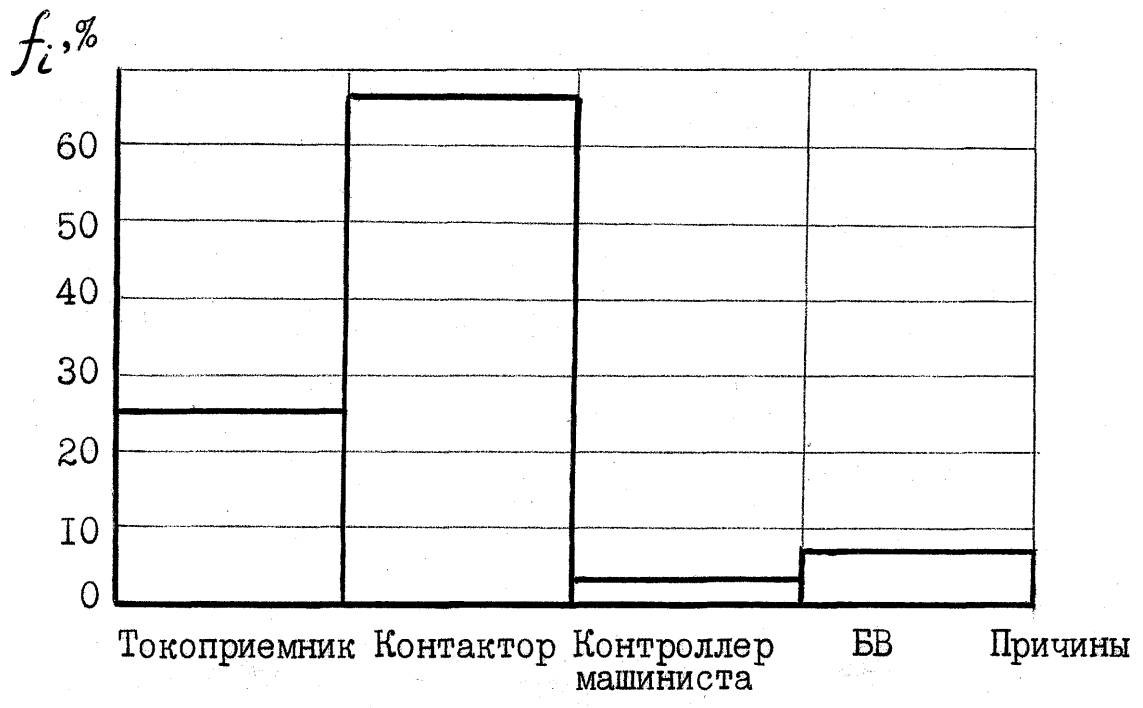
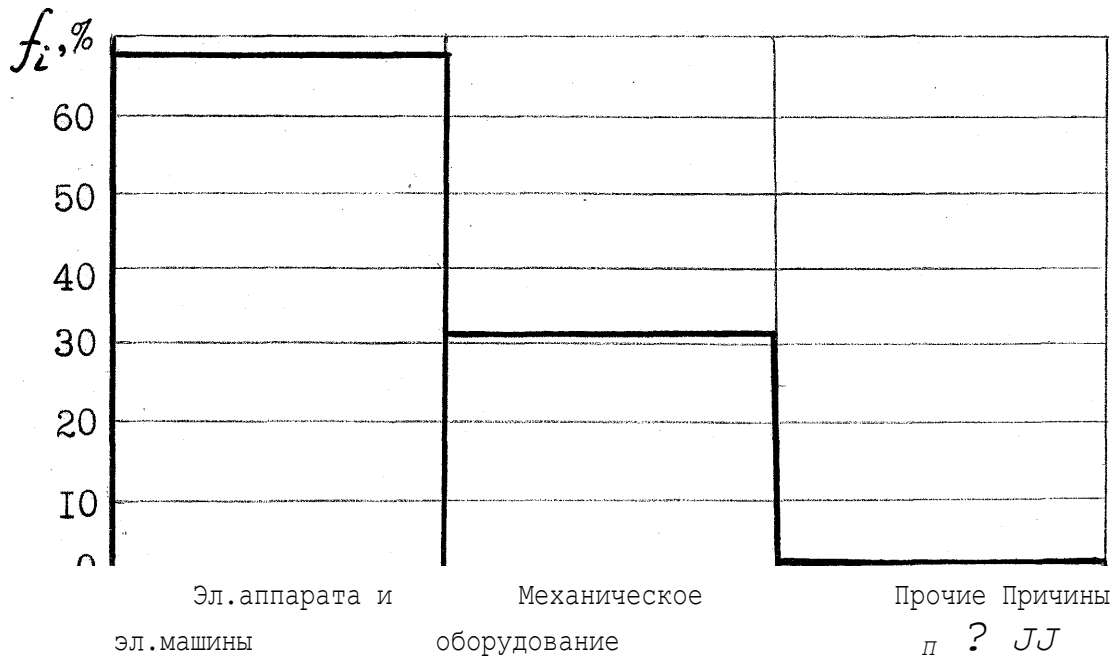


Рис. 17.2.16

Диаграмма распределения причины неплановых ремонтов  
электровозов ЧС-7 за 1983 - 01.96 г.г.



Динамика распределения количества заходов электровозов ЧС-7 на ТО-3, ТР-1, ТР-2 за 1903-95 г. г.

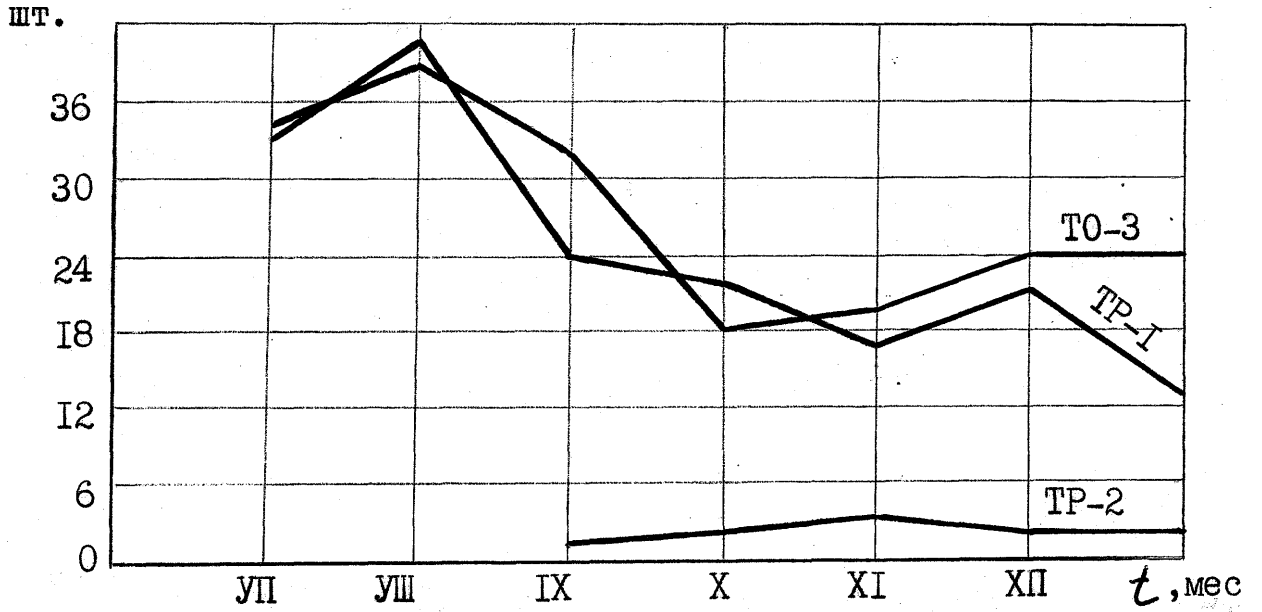


Рис.

Динамика распределения времени нахождения электровозов ЧС-7 на ТО-3, ТР-1, ТР-2 за 1903-95 г. г.

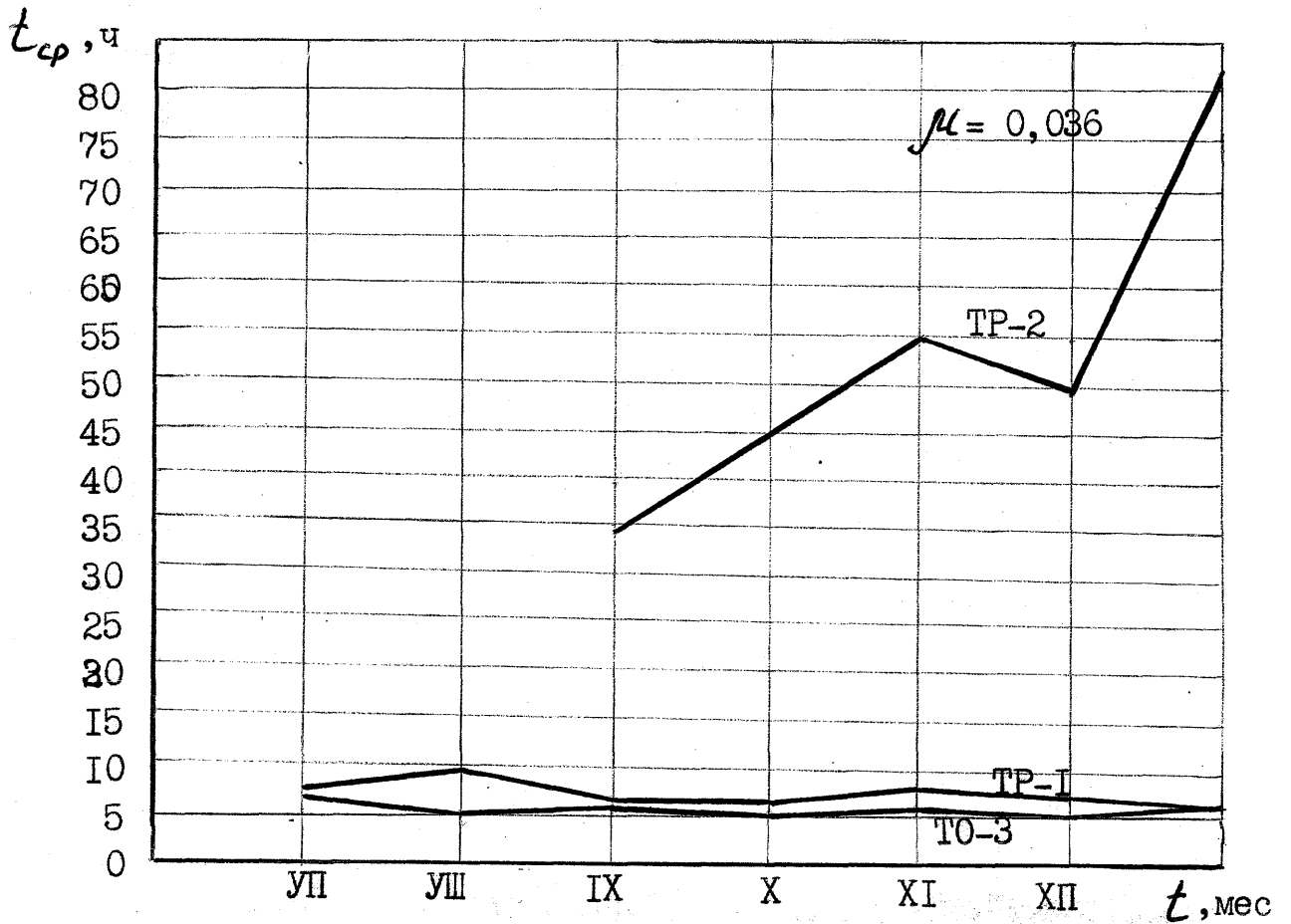


Рис. П.2.19

Диаграмма распределения причин неплановых ремонтов электровозов ЧС-7 из-за неисправности механического оборудования за 1983 QI.95 г.г»

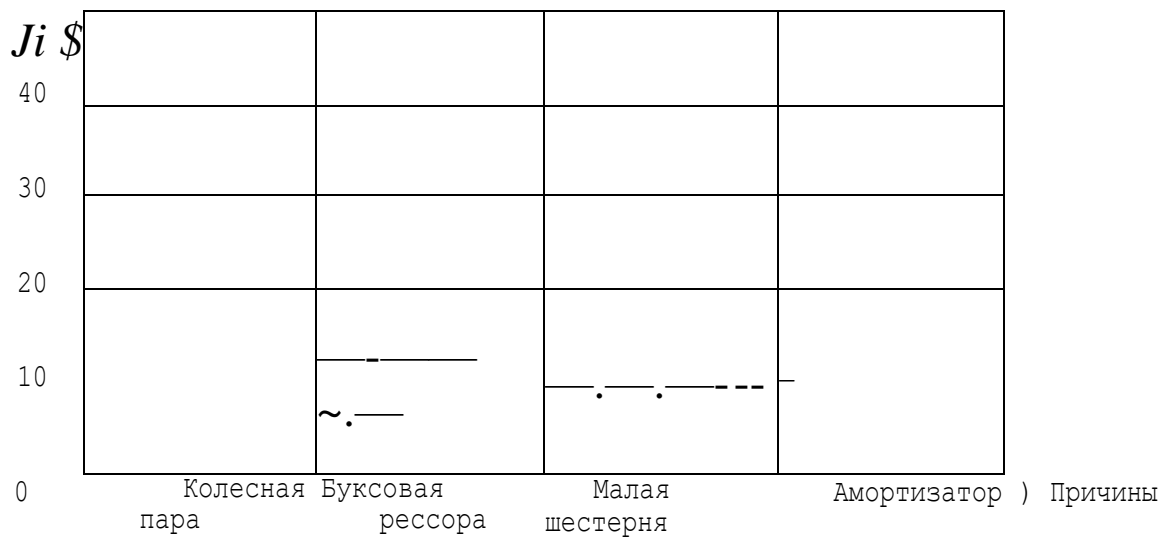


Рис. /7.2» 20

Диаграмма распределения неплановых ремонтов электровозов ЧС-7 из-за неисправности электрических машин за 1983 - 01.95

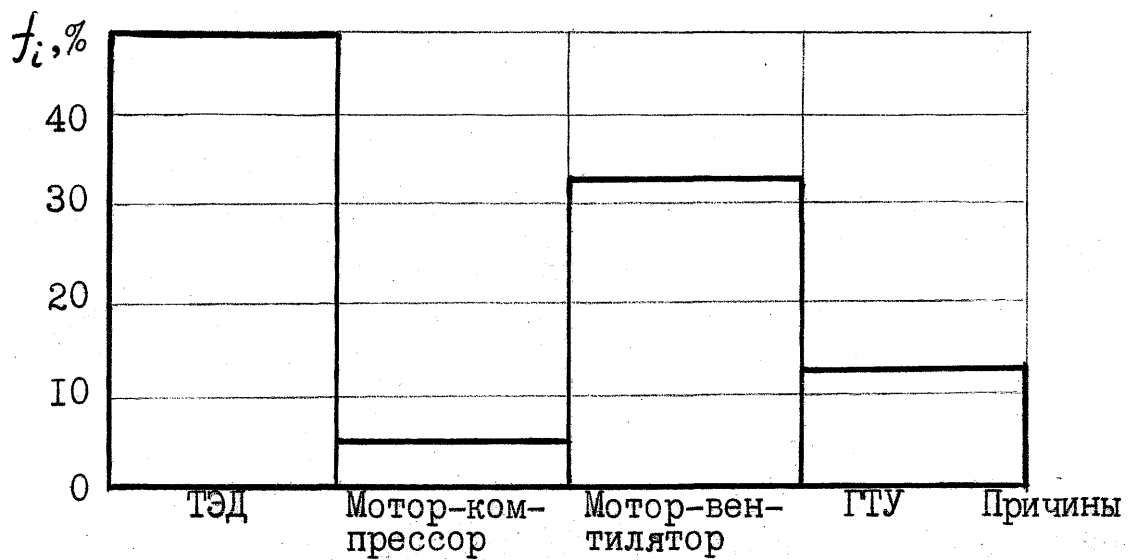


Рис. П.2.21

Диаграмма распределения причин порч и повреждений в пути следования электровозов ЧС-2, ЧС-7 за 1983 г. \*01.95 г.

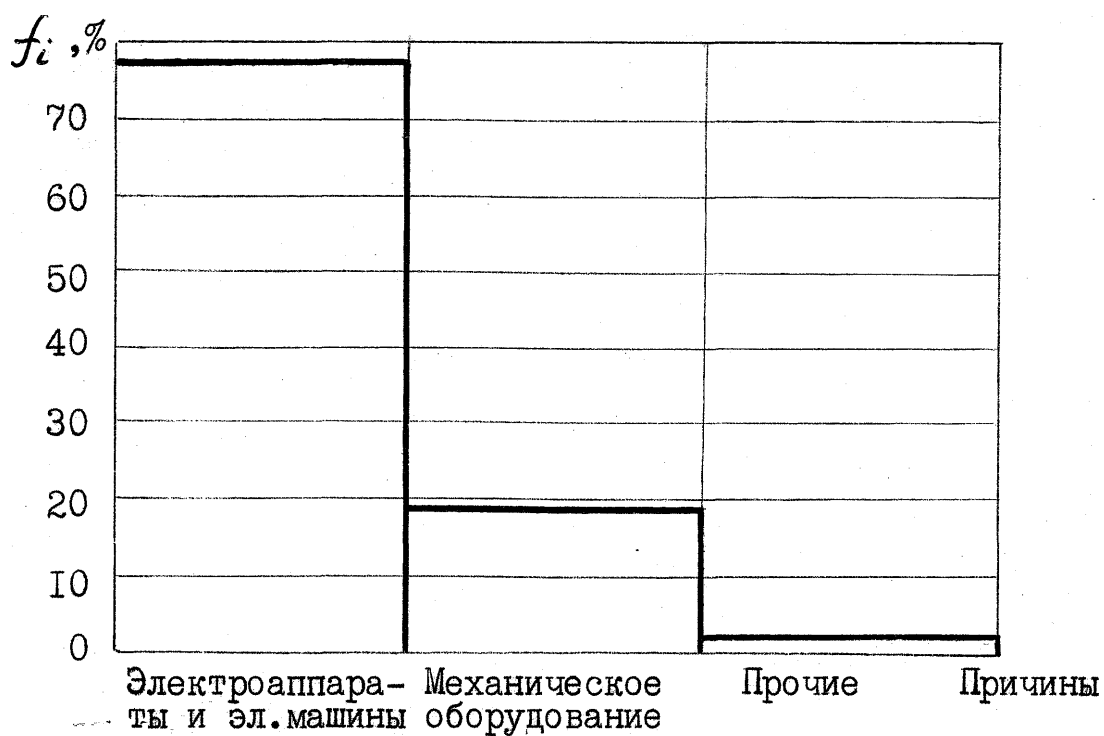


Рис. 17.2.22

Диаграмма причин срывов с графика движения поездов электровозов ЧС-2, ЧС-7 за 1983 г, \*01.95 г.

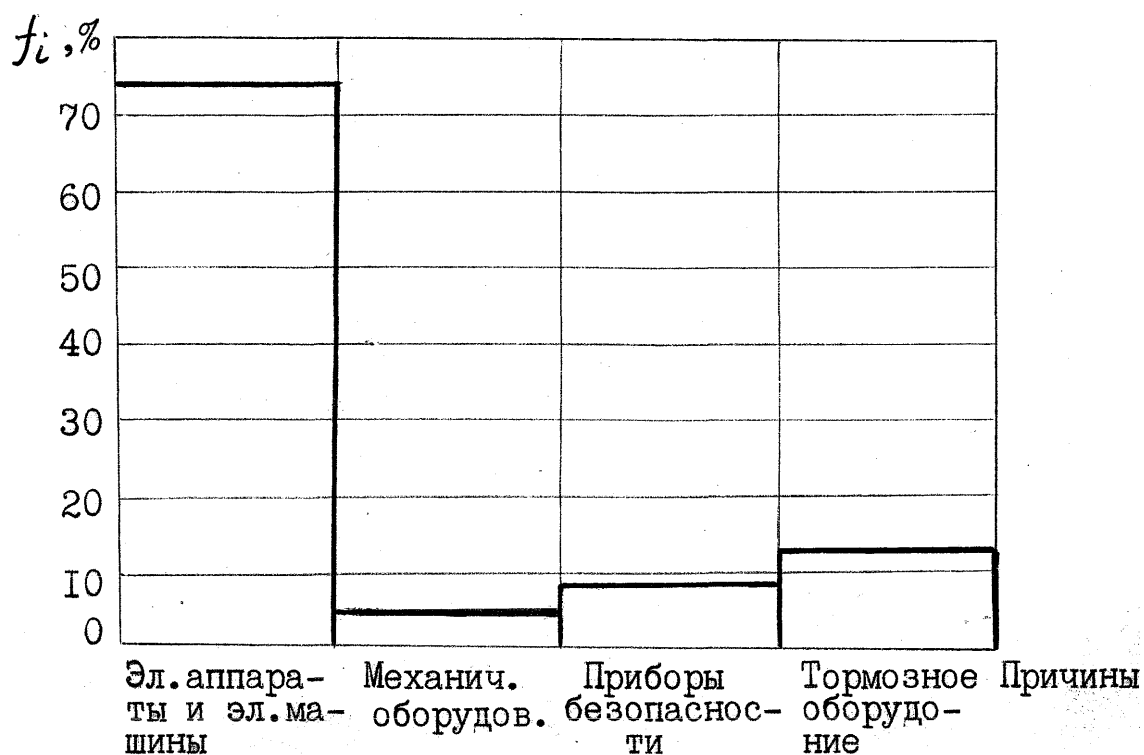


Диаграмма распределения количества сверхцикловых работ на ТР-1 по причинам:

а) вспомогательное, оборудование; б) тормозное оборудование (тепловоз 2Т9І2І, депо Попасная Донецкой ж.д.)

а)



б)

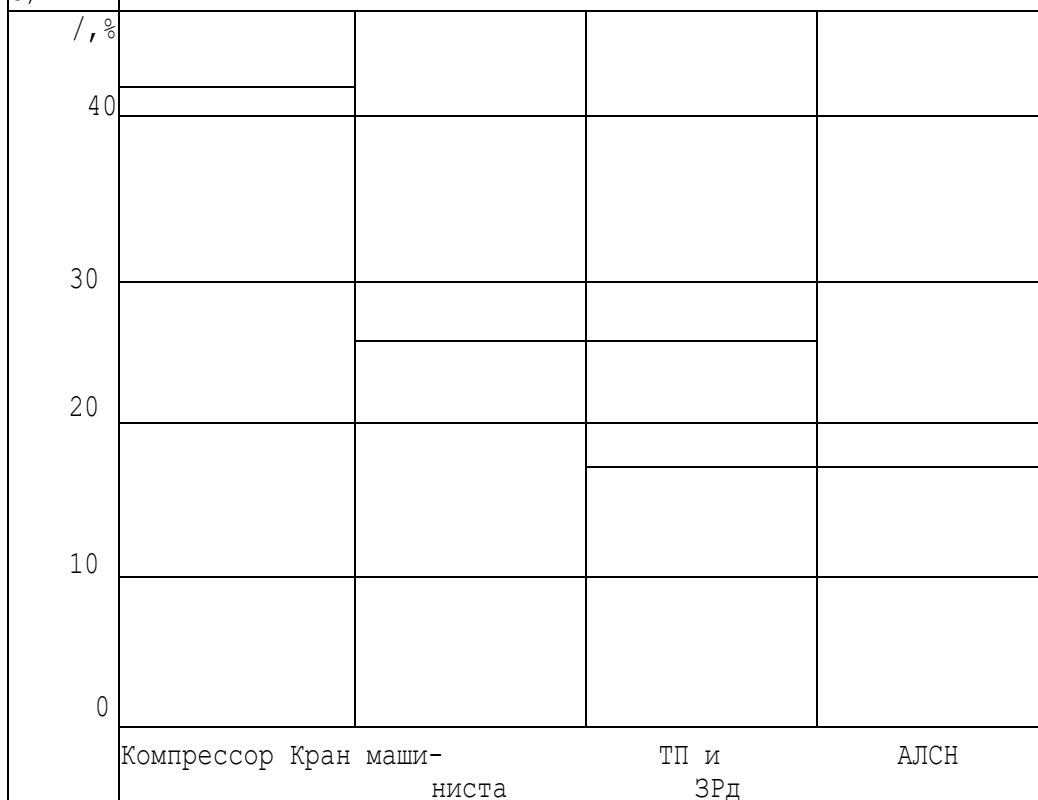


Рис. П, 2, 2 У

Диаграмма распределения количества сверхцикловых работ

по причинам на ТР-I (тепловоз 2ТЭ121, депо Попасная Донецкой ж.д.) а) по дизелю; б) по электрооборудованию

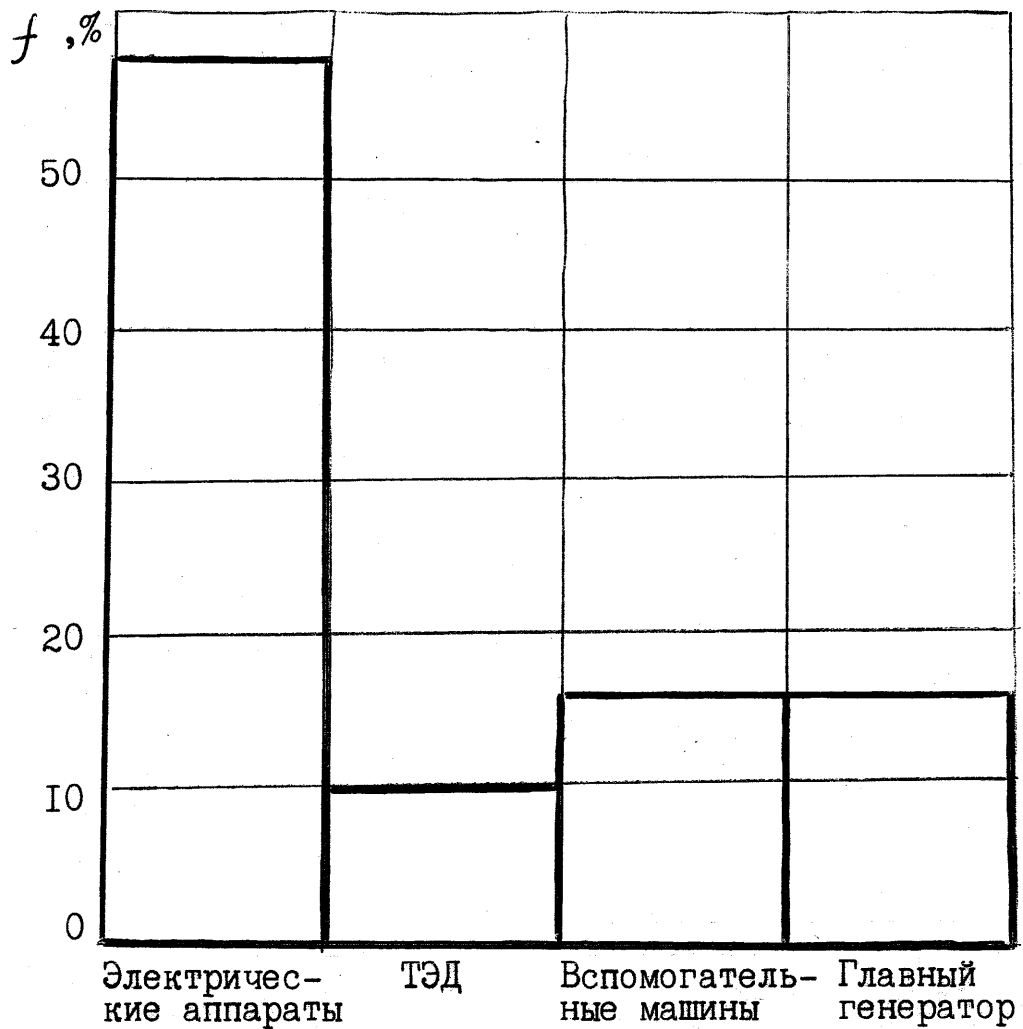
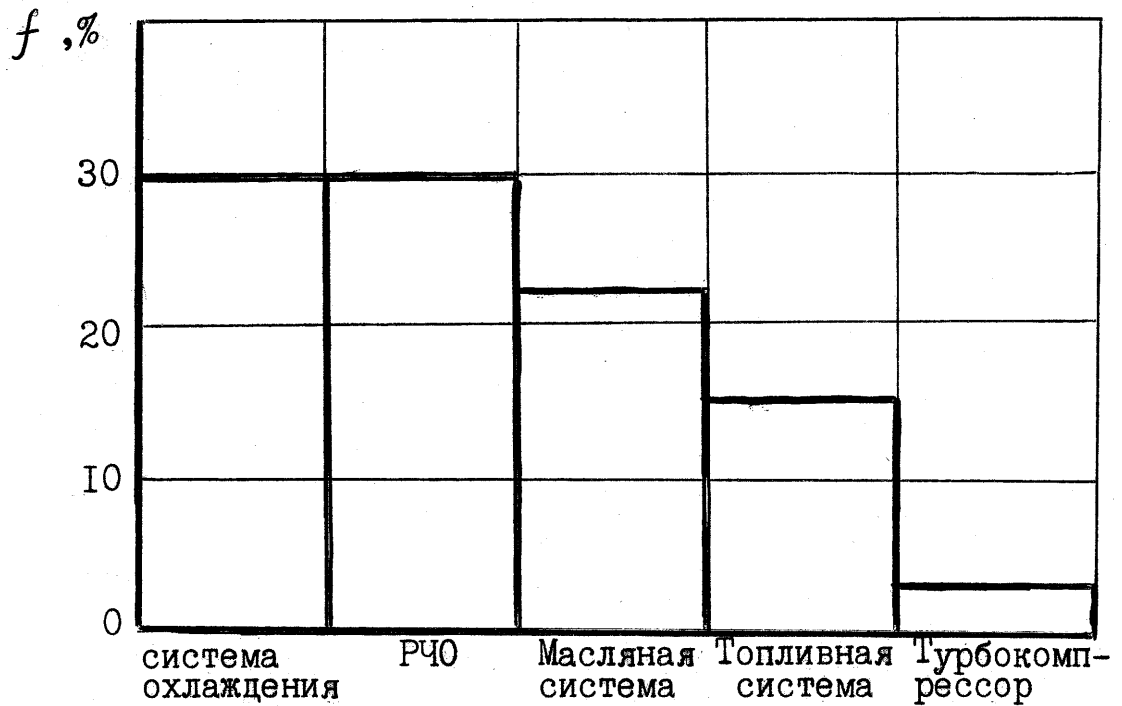
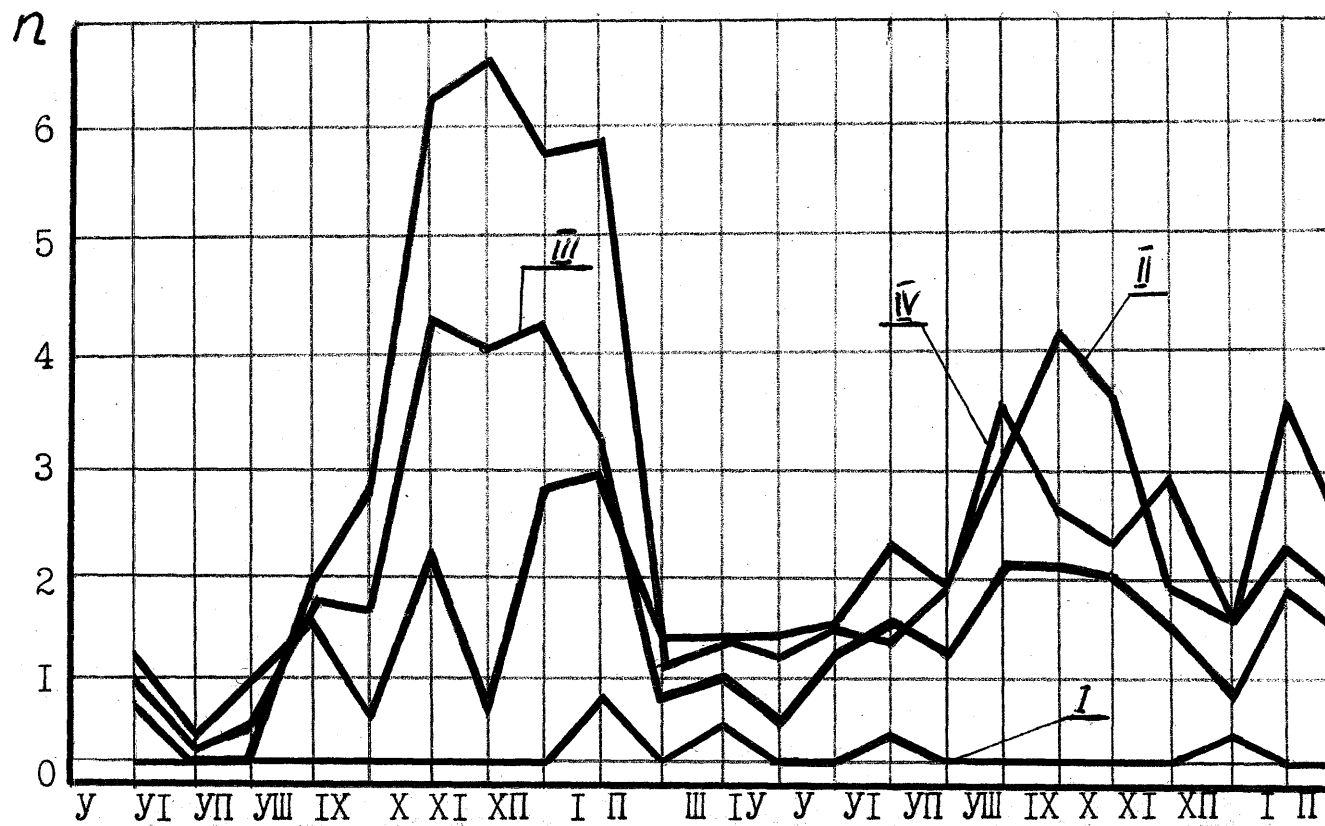


Диаграмма распределения количества замен узлов и агрегатов  
тепловоза 2ТЭ121 по месяцам на ТО-3, ТР-1, НР за 1988-1990 г.г.

(депо Попасная Донецкой ж.д.)



Условные обозначения:

- І - ТР-1
- ІІ - НР
- ІІІ - среднее значение
- ІУ - ТО-3

Рис. /Z

Диаграмма распределения количества НР по причинам:  
 а) АЛСН и автотормоза; б) вспомогательное оборудование;  
 (тепловоз 2ТЭ121, депо Попасная Донецкой ^.д.)

а)

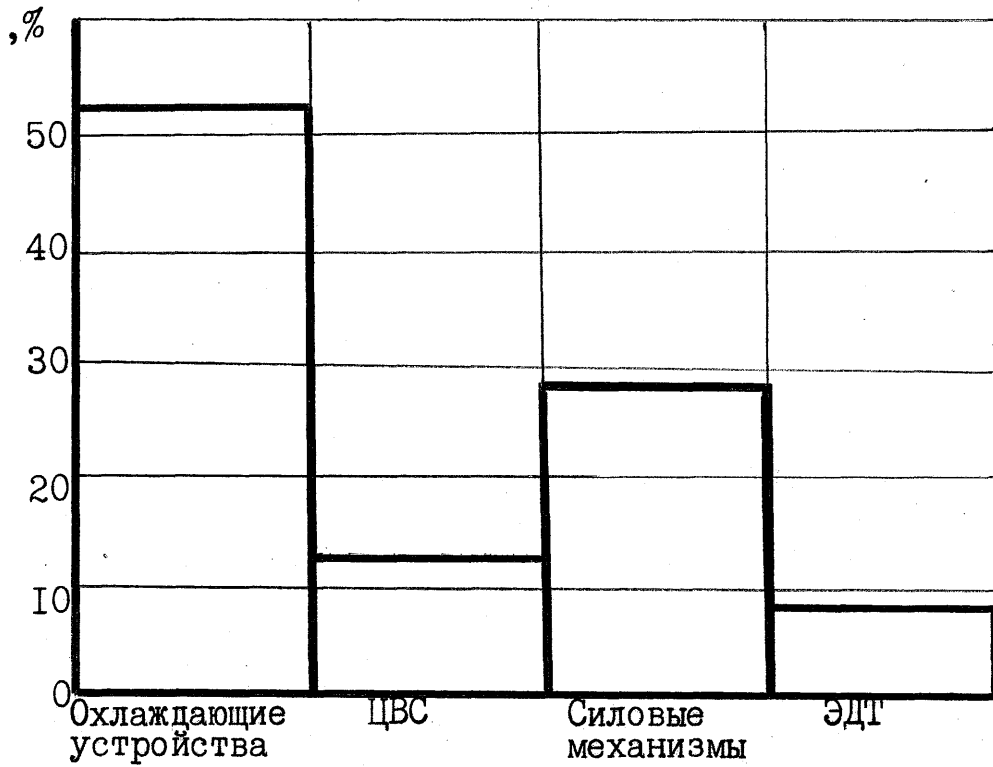
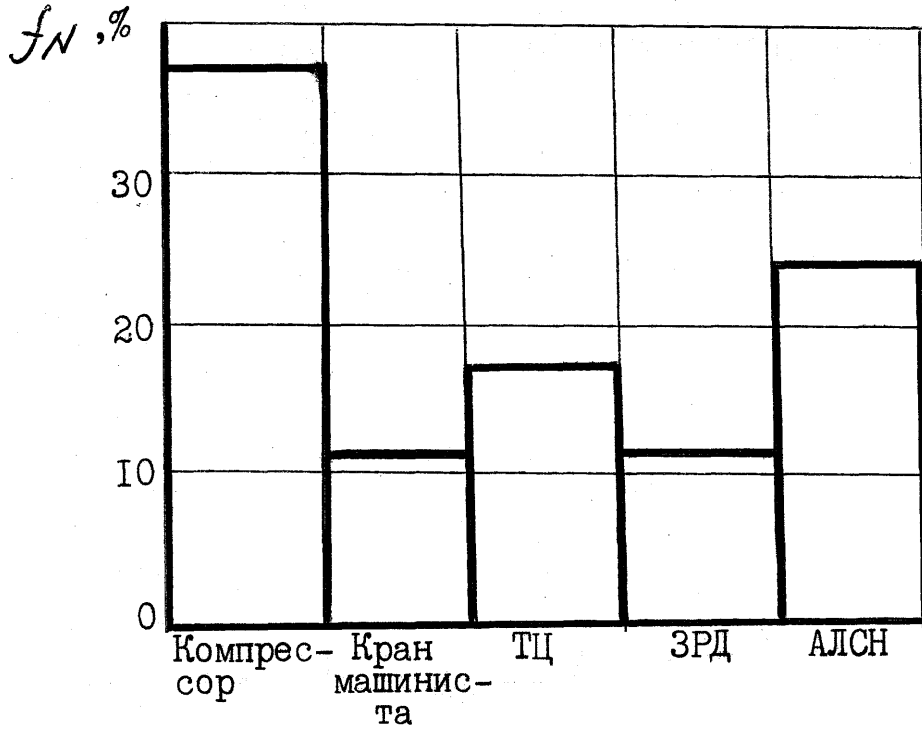


Рис. П.2.27

Диаграмма распределения количества НР по экипажной части  
(тепловоз 2ТЭ121, депо Попасная Донецкой ж.д.)

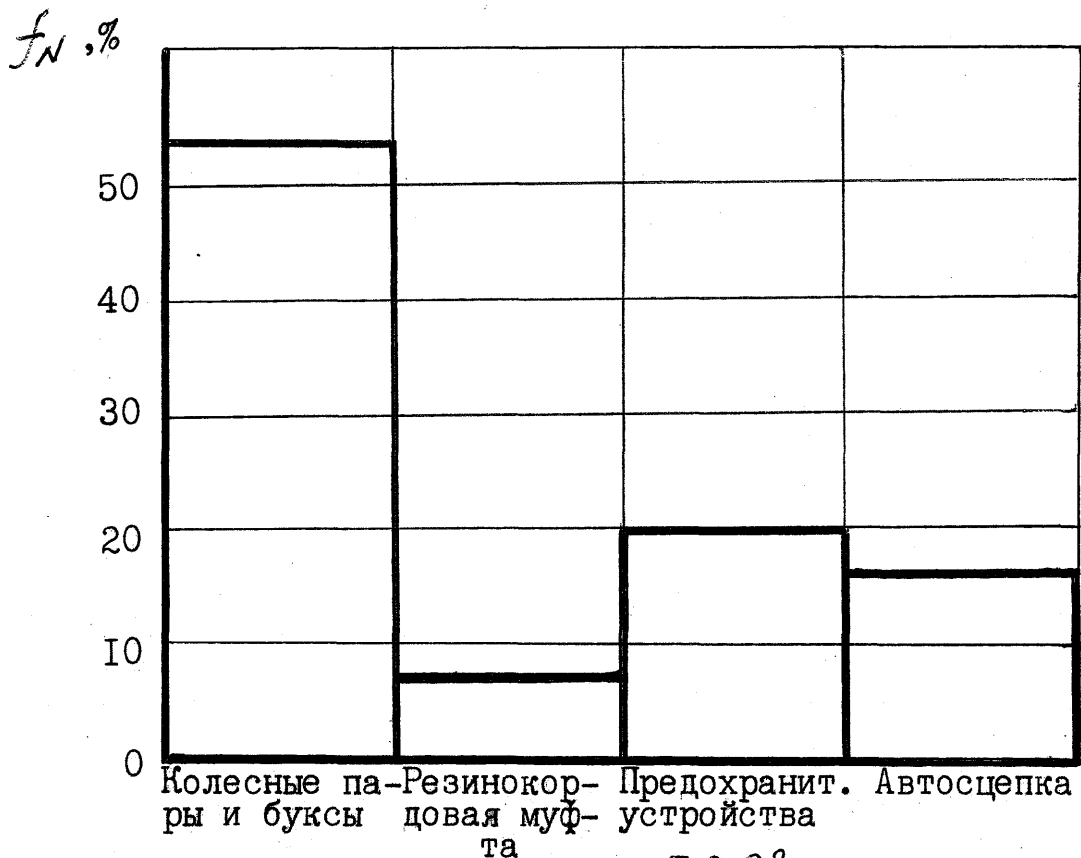


Рис. 17.2.28

Диаграмма распределения трудоемкости НР по дизелю  
(тепловоз 2ТЭ121, депо Попасная Донецкой ж.д.)

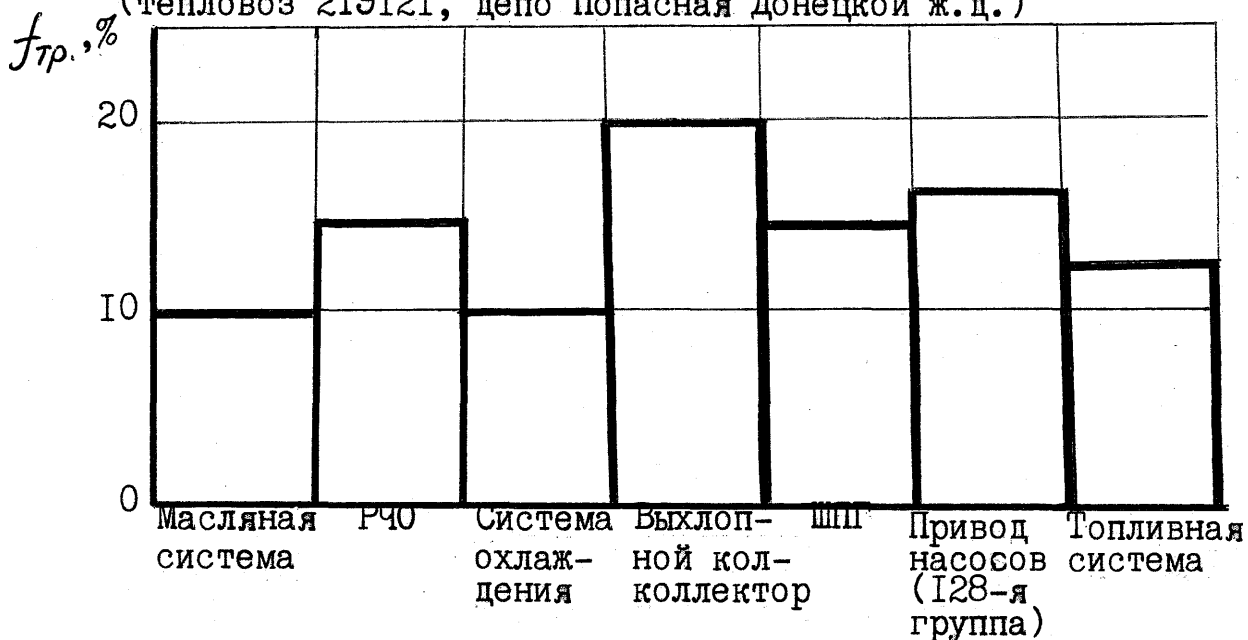


Диаграмма распределения трудоемкости НР по электрооборудованию  
(тепловоз 2ТЭ121, депо Попасная Донецкой ж.д.)

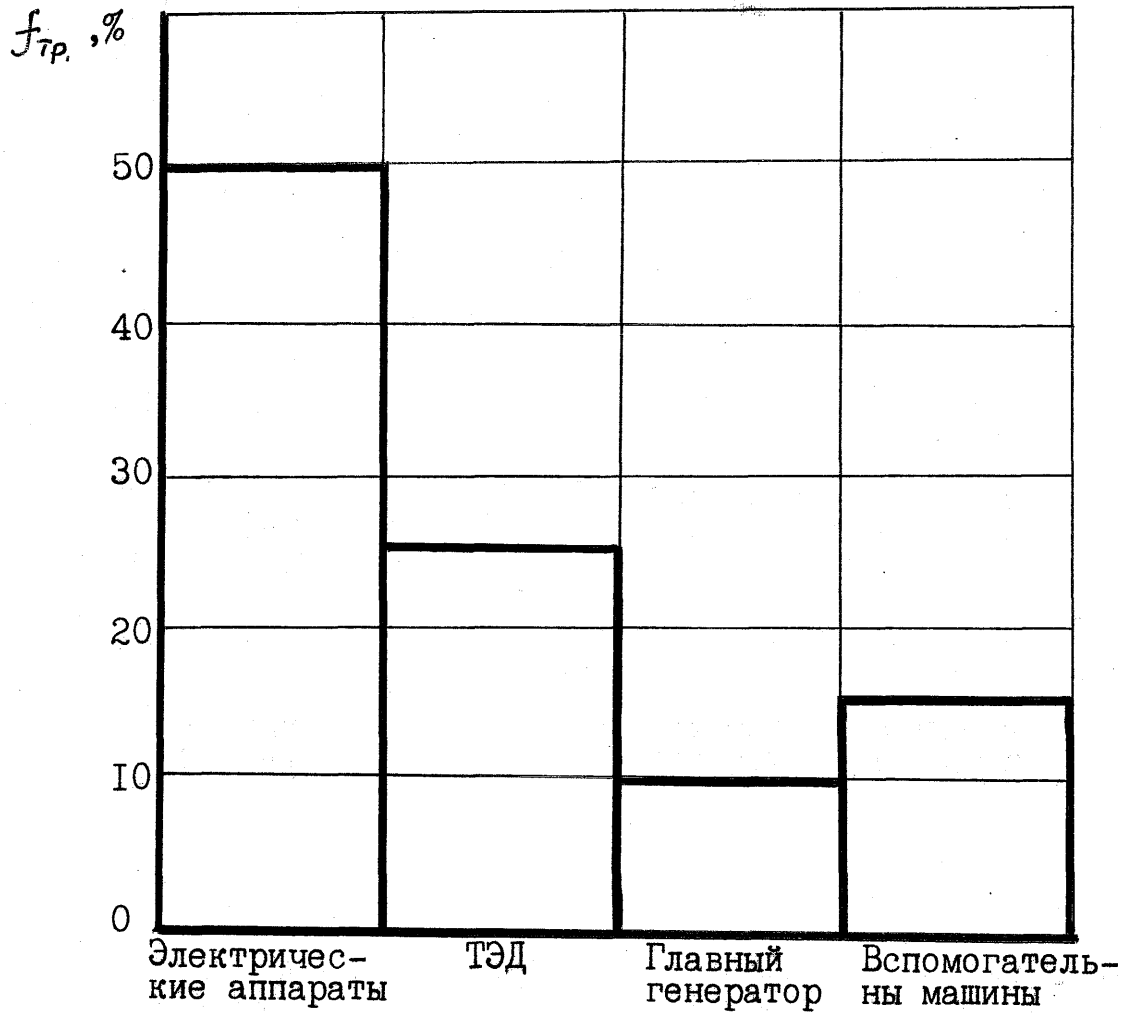


Рис. 17.2.30

Диаграмма распределения трудоемкости НР АЛСН и автотормозов  
(тепловоз 2ТЭ121, депо Попасная Донецкой ж.д.)

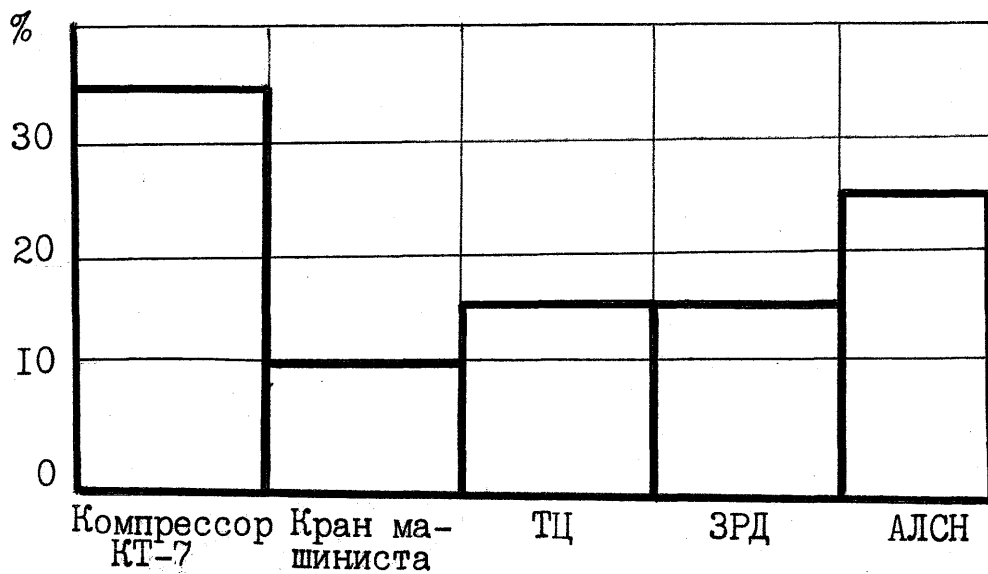


Рис. 17.2.31

Диаграмма распределения трудоемкости НР по узлам тепловоза 2ТЭ121 (депо Попасная Донецкой ж.д.)

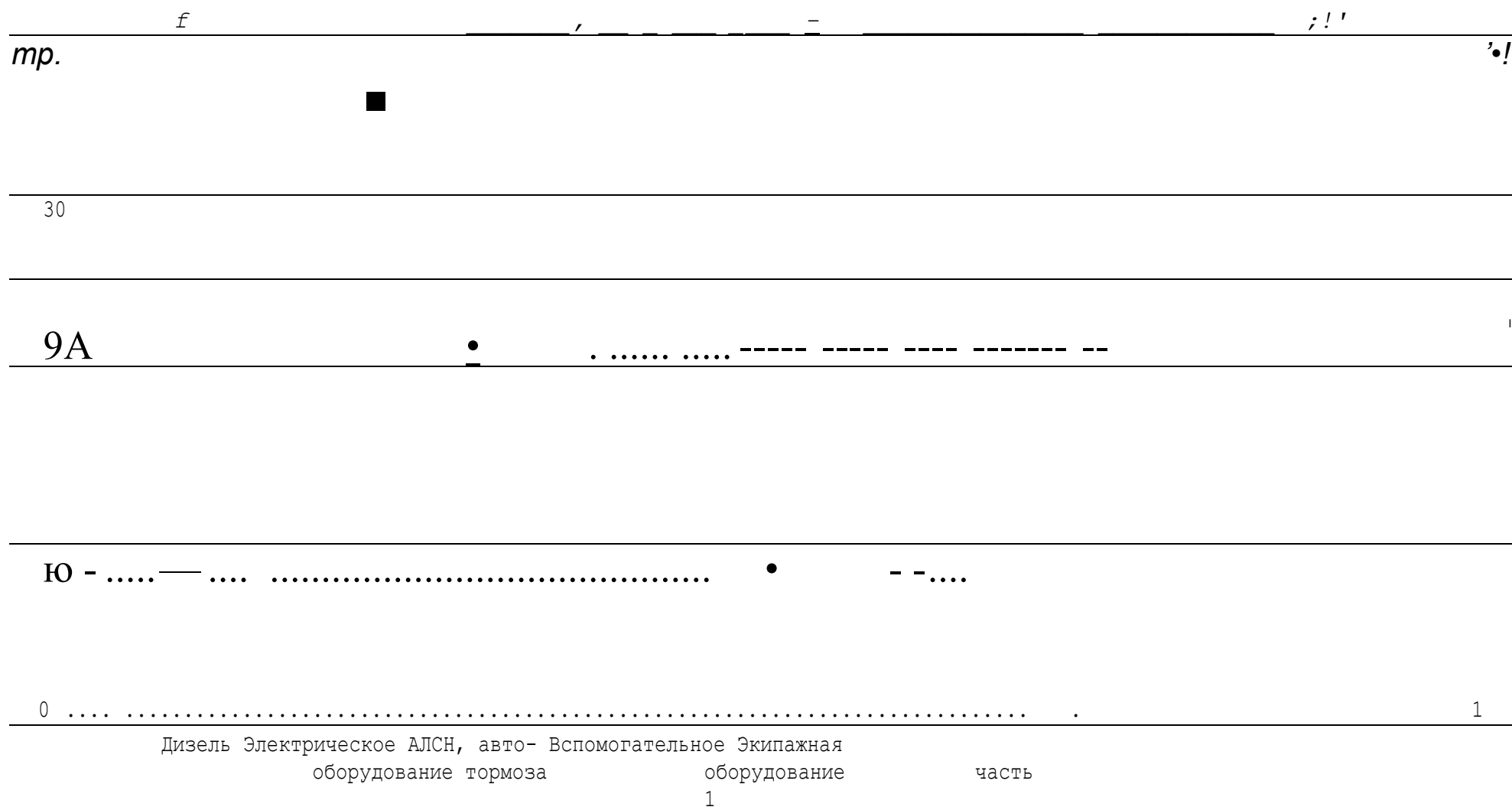


Рис. /Z 2, 32

Диаграмма трудоемкости сверхцикловых работ на ТО и ТР-1  
 и неплановых работ с заменой узлов и агрегатов  
 (тепловоз 2ТЭ121, депо Попасная Донецкой ж.д.)

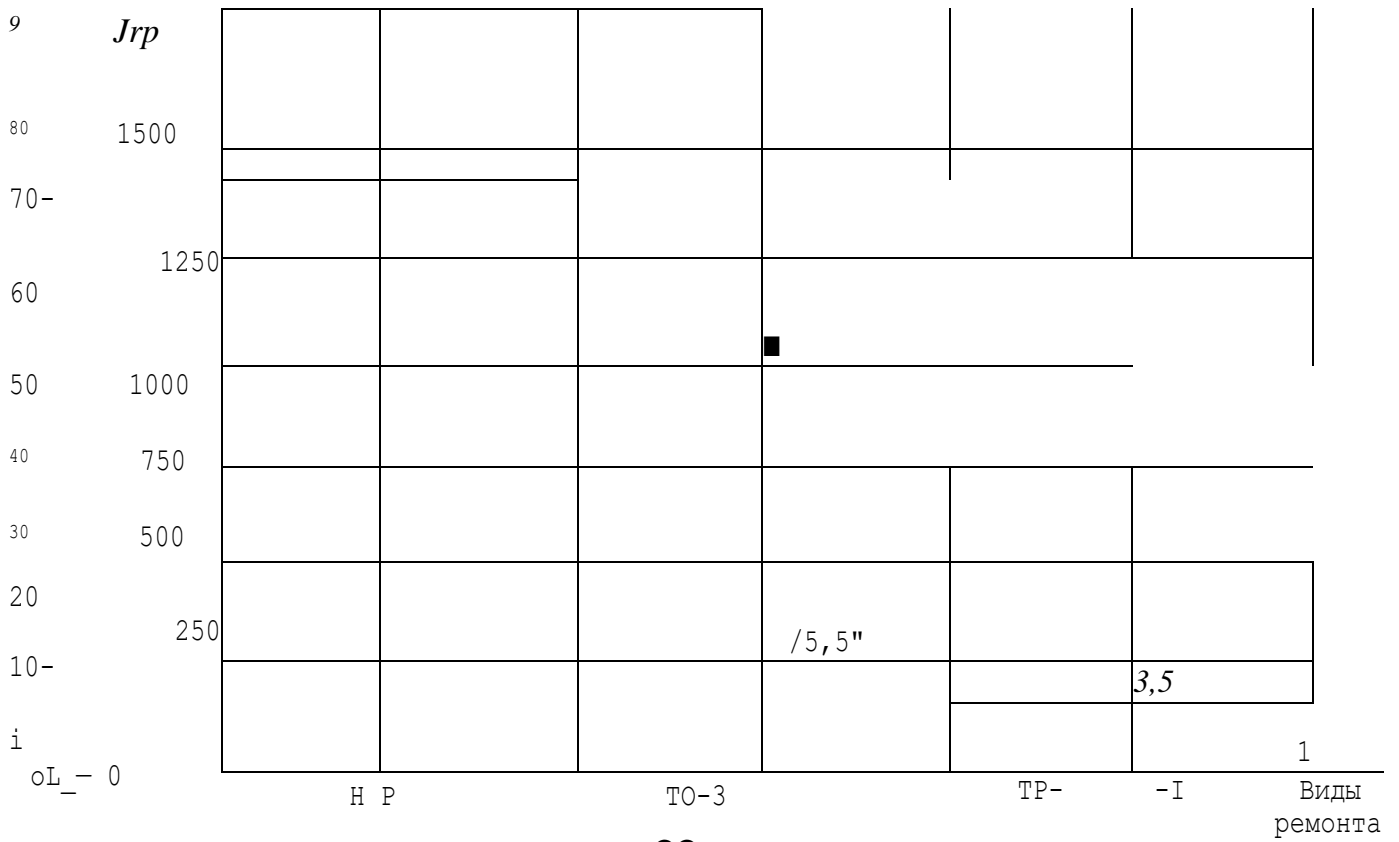


Рис. /7.2. 33

Диаграмма распределения количества замен узлов и агрегатов  
 тепловозов 2ТЭ121 по видам ремонта  
 (депо Попасная Донецкой ж.д.)

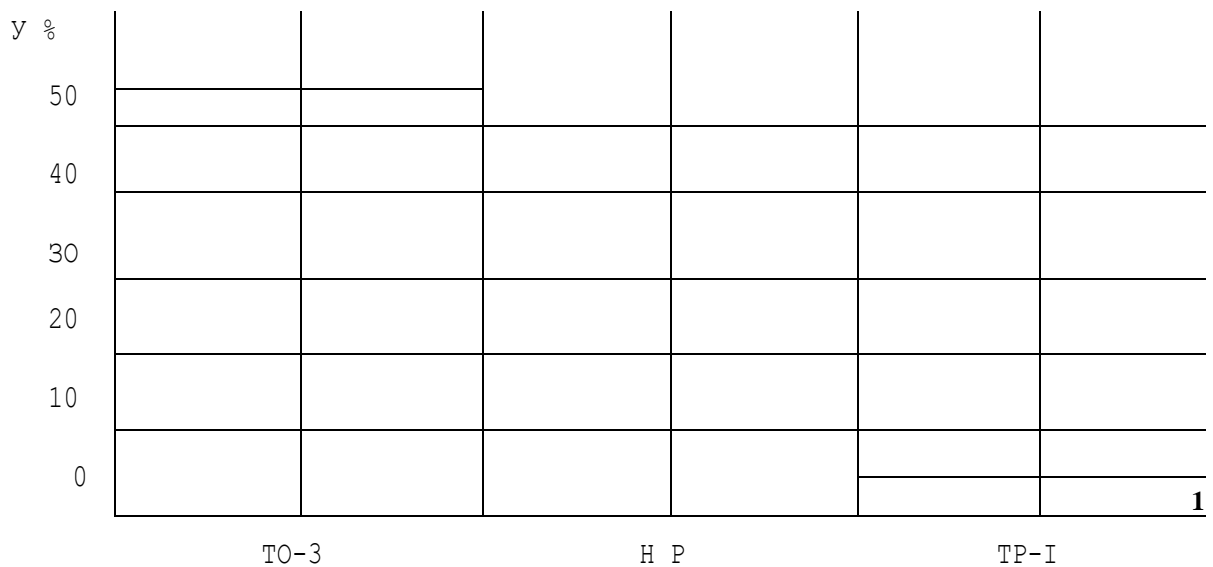


Рис.

Диаграмма распределения сверхцикловых работ с заменой  
 основных узлов и агрегатов по причинам на ТР  
 (тепловоз 2ТЭ121, депо Попасная Донецкой ж.д.)

65			
	S2		
		3	2

Электрооборудование      Дизель      Экипаж  
 Оборудование                      вание

Рис./7.2

Диаграмма распределения работ с заменой основных узлов  
 и агрегатов на НР  
 (тепловоз 2ТЭ121, депо Попасная Донецкой ж.д.)

/Л	5^3			
50				
40				
ЧП				
		2/S		
Of			/5"	
/0				9
10				
0				

Электрооборудование

Дизель

Вспомогательное Оборудование      Экипаж

Диаграмма распределения сверхцикловых работ с заменой основных узлов и агрегатов по причинам на ТО-3

(тепловоз 2ТЭ121, депо Попасная Донецкой ж.д.)

>54	32,5	I	
		23,5*	
			/o

Вспомогательное оборудование Дизель Электрооборудование Экипаж вание

Рис./72.37

Диаграмма распределения сверхцикловых работ на ТР-1 по группам на тепловозе' 2ТЭ121

(депо Попасная Донецкой ж.д.)

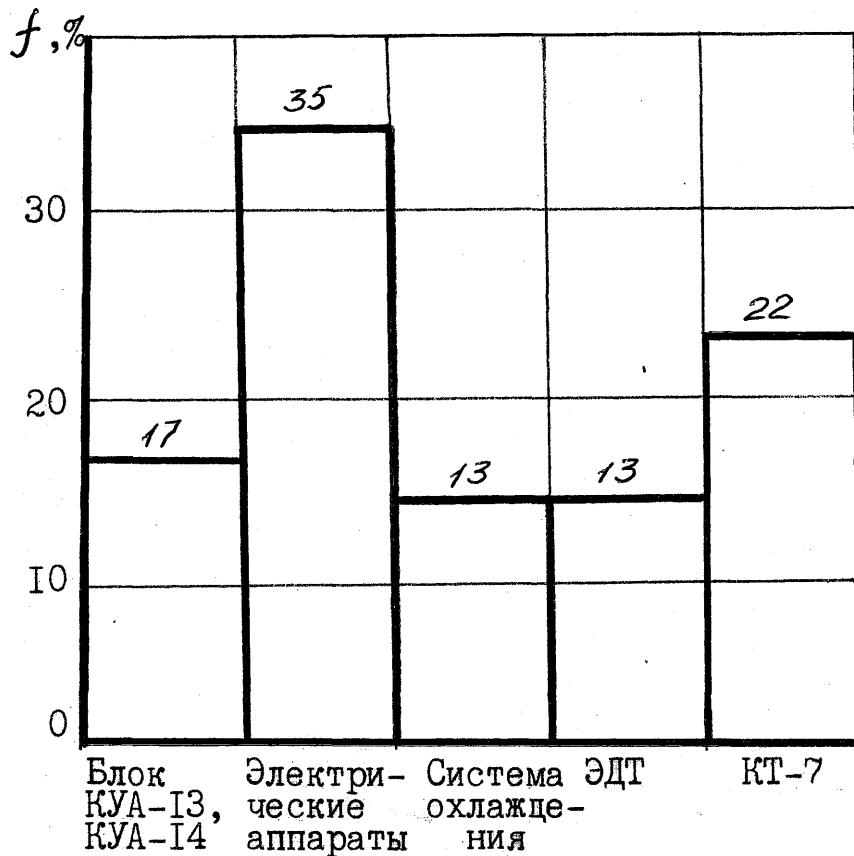


Рис. П.2.38

Диаграмма распределения количества неплановых работ по дизелю  
(тепловоз 2ТЭ121, депо Попасная Донецкой ж.д.)

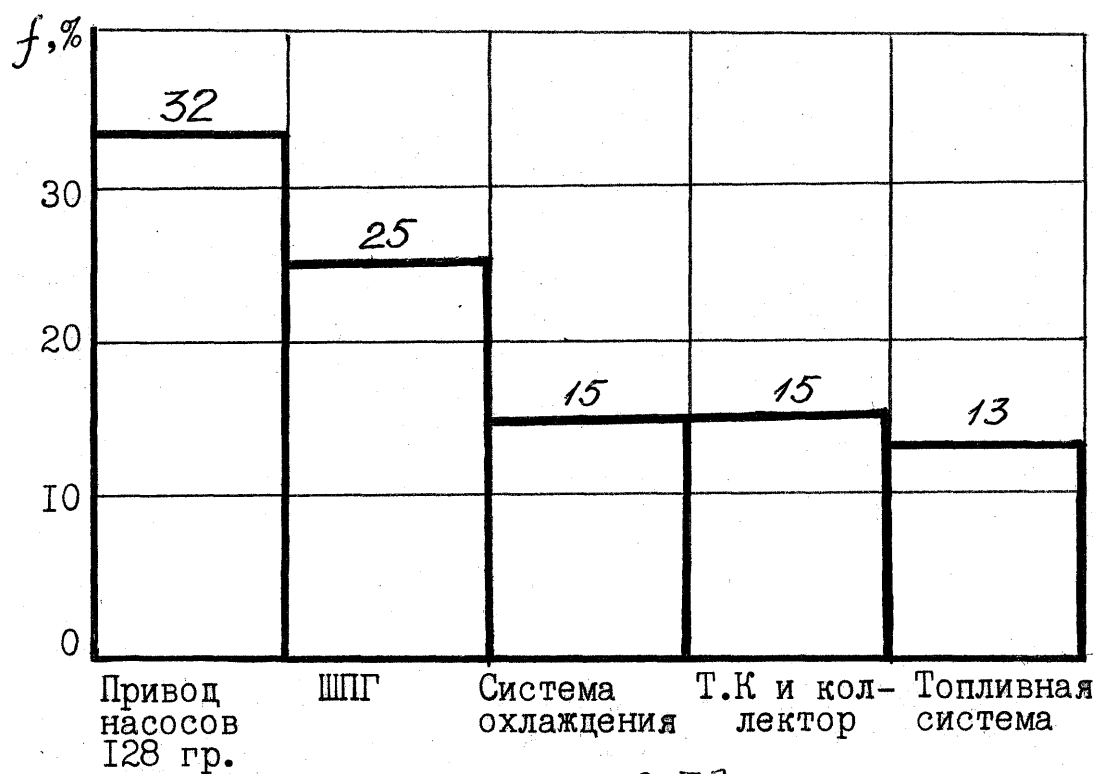
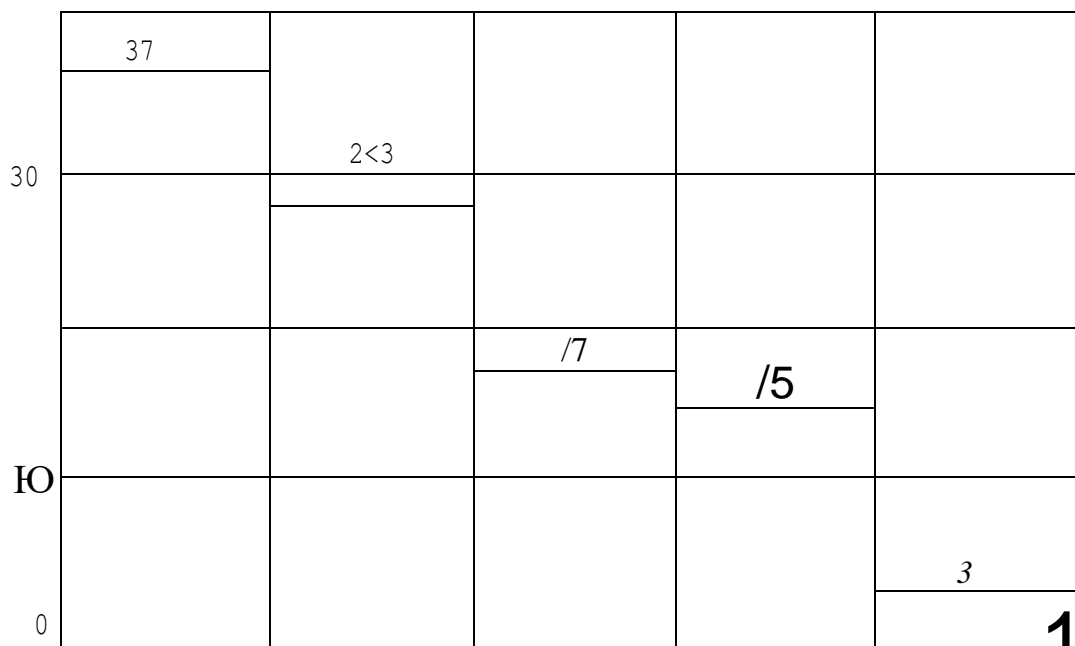


Рис. 11.2.39

Диаграмма распределения количества неплановых работ по электрооборудованию  
(тепловоз 2ТЭ121, депо Попасная Донецкой ж.д.)



Блок КУА-І3 Вспом. Электрич. ТЭД  
КУА-І4 оборудов. аппараты

агрегат

Диаграмма распределения количества неплановых работ по  
экипажной части

(тепловоз 2ТЭ121, депо Попасная Донецкой ж.д.)

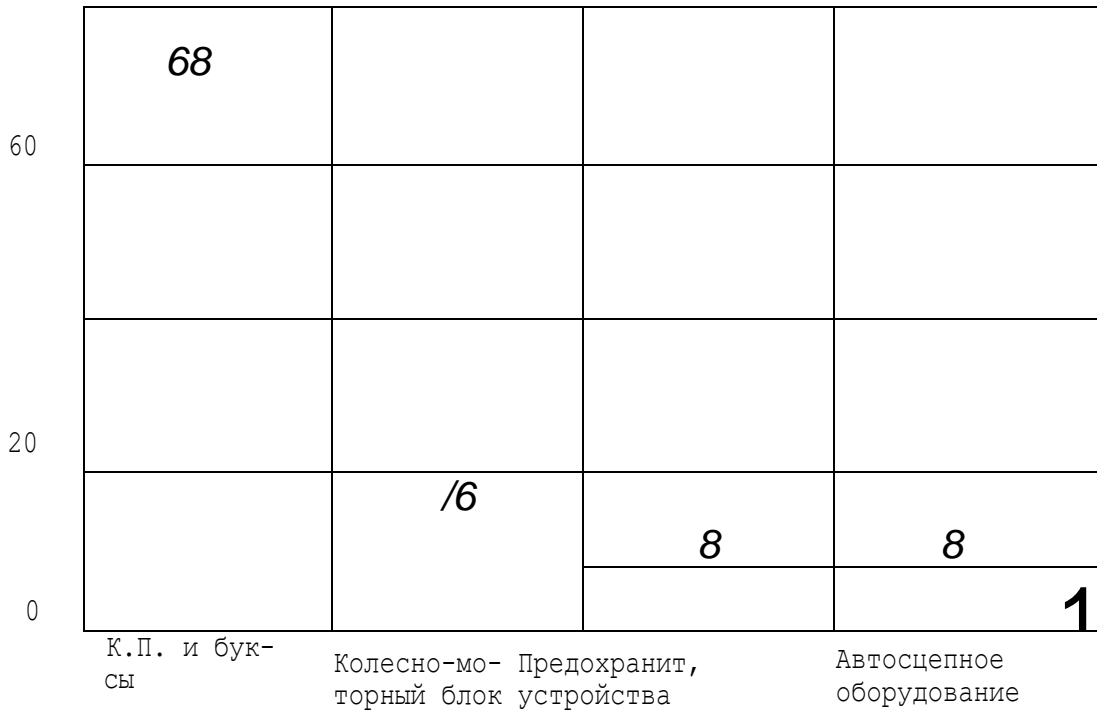


Рис. 17.2.41 Щ

Диаграмма распределения количества неплановых работ по  
вспомогательному оборудованию

(тепловоз 2ТЭ121, депо Попасная Донецкой ж.д.)

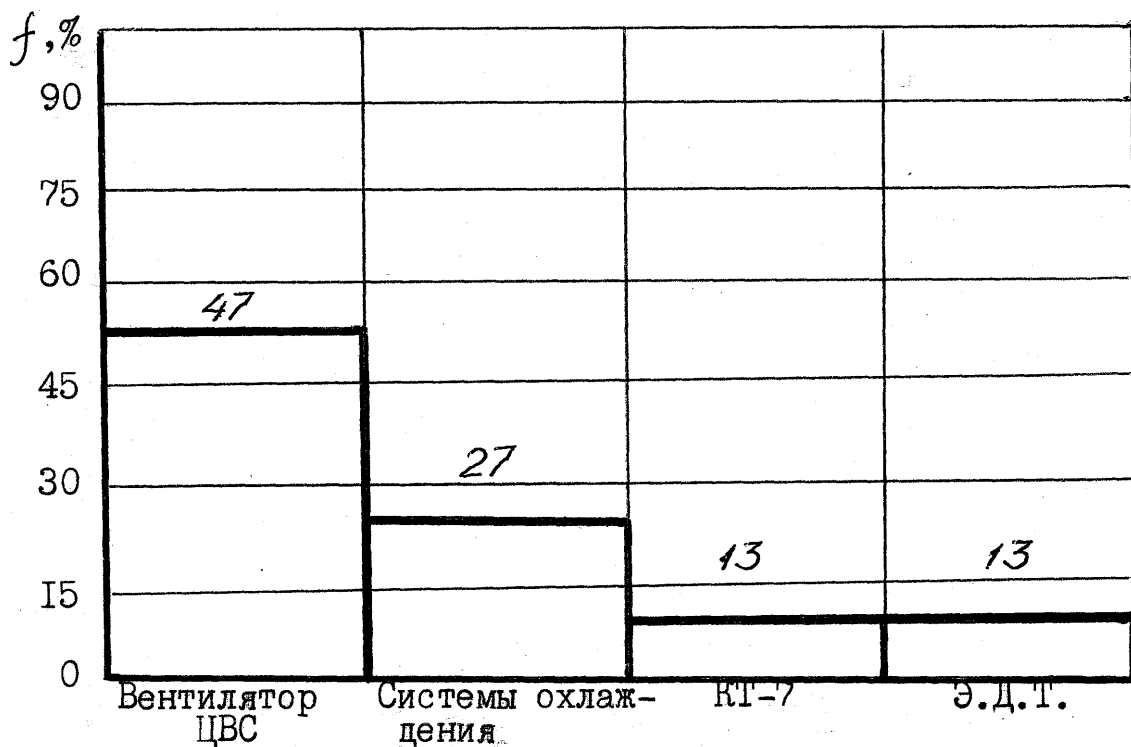


Рис. 17.2.42

Диаграмма распределения трудоемкости неплановых ремонтов  
электровозов по месяцам

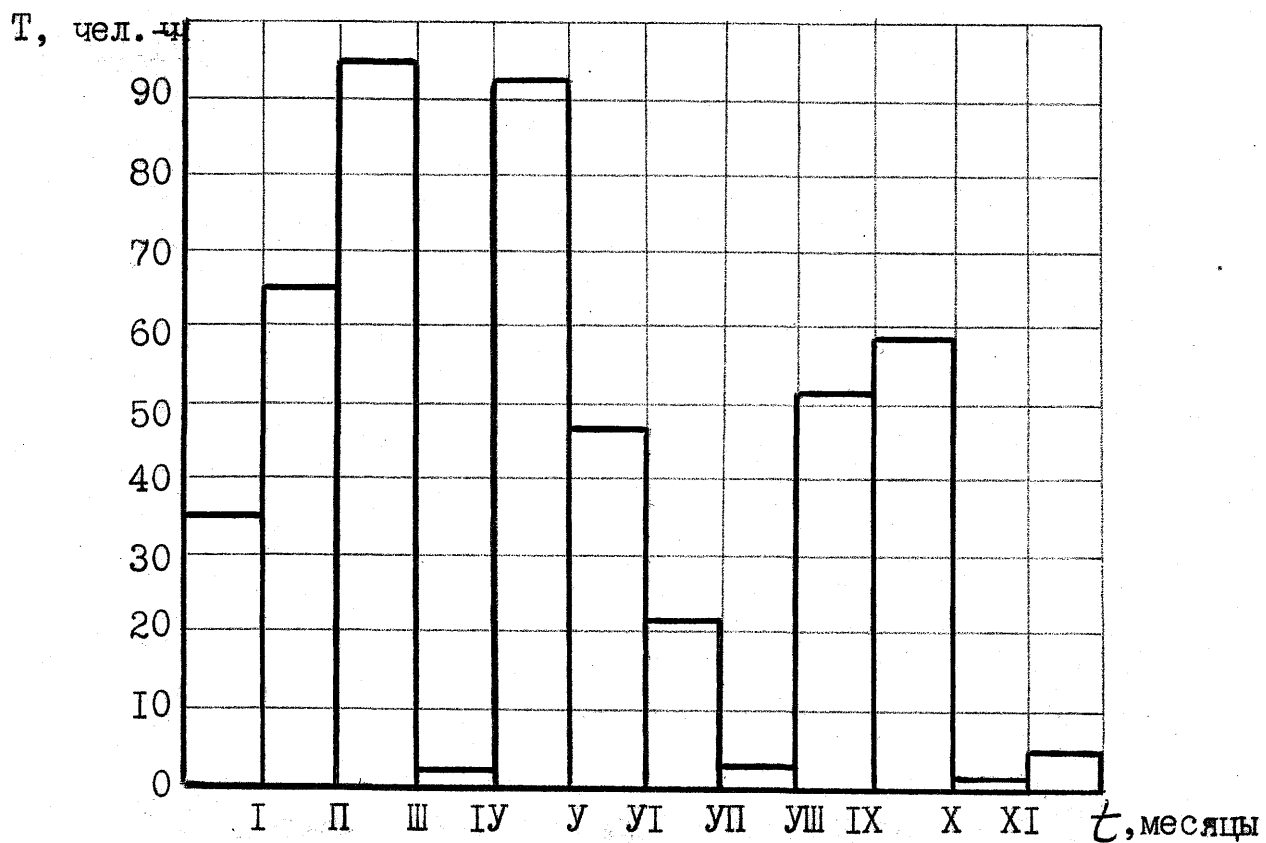


Рис. 17.2.43

Диаграмма распределения числа неплановых ремонтов  
электровозов ЧС-7 по месяцам

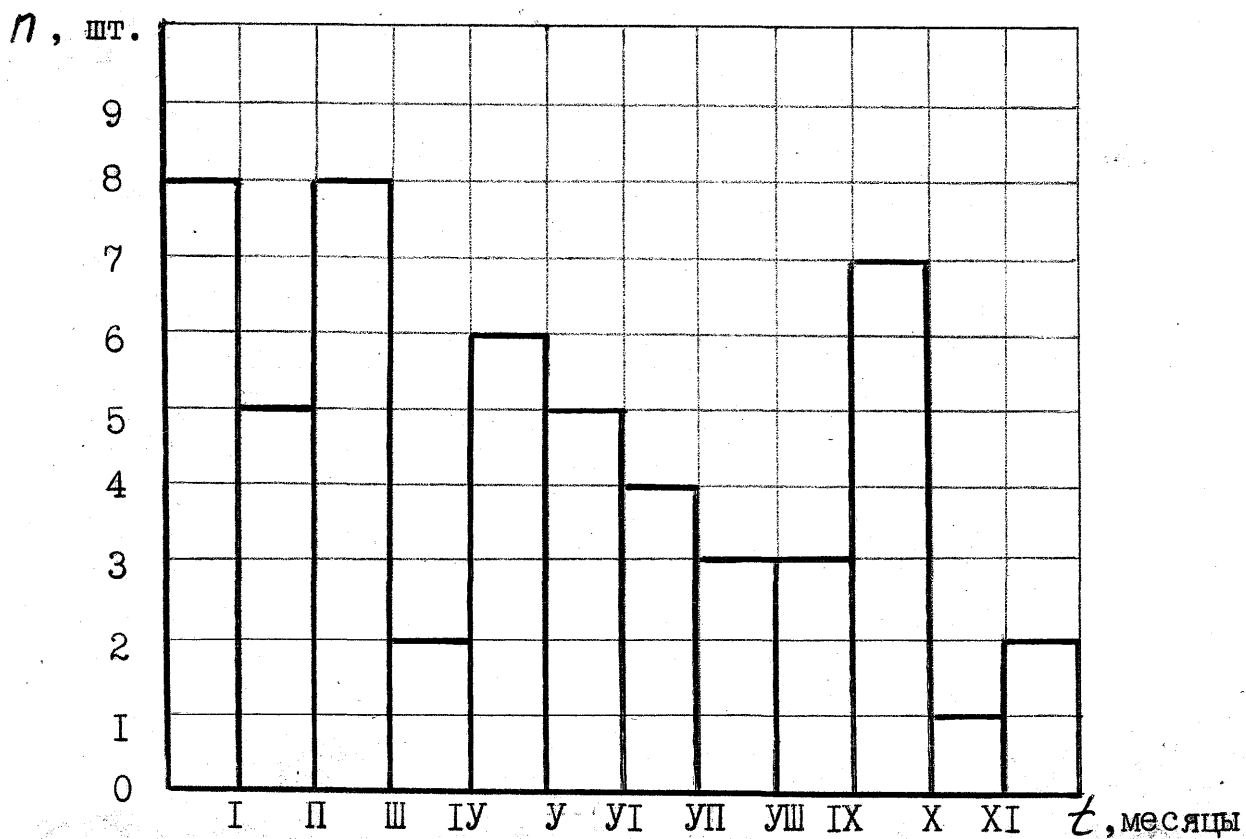


Рис. 17.2.44

Диаграмма отказов тягового редуктора электровоза ЧС-7

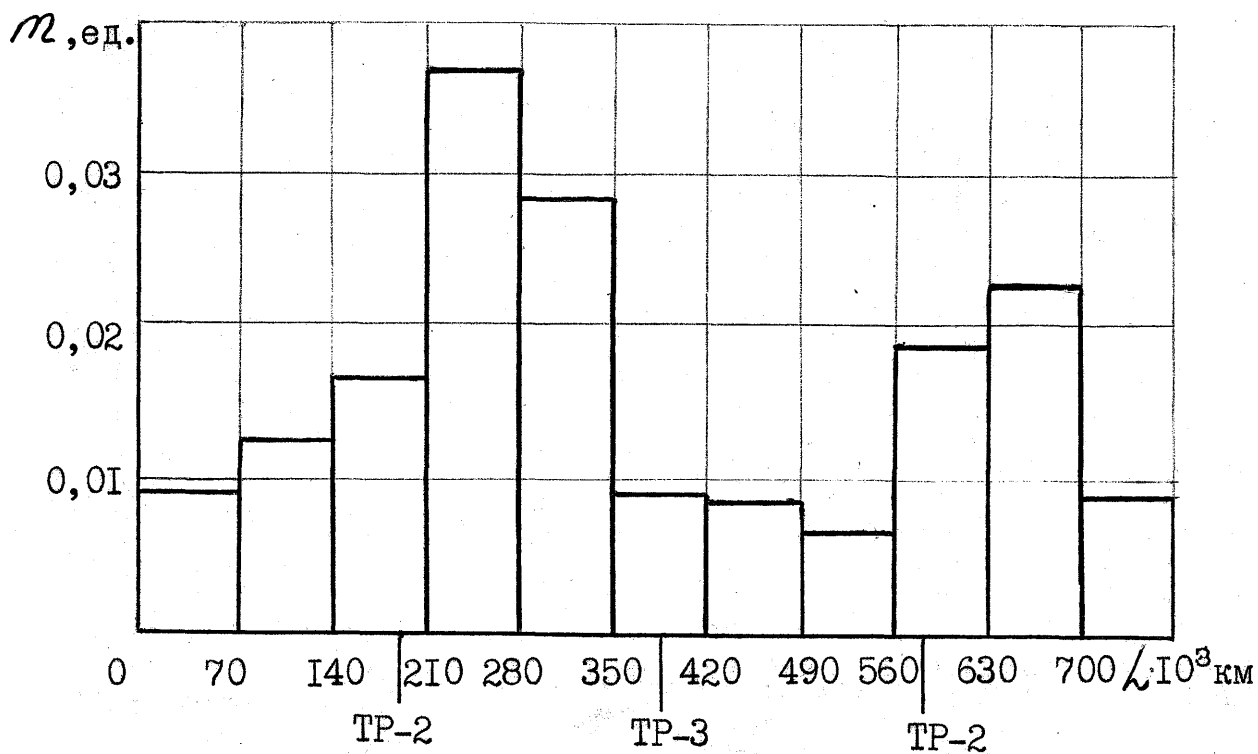


Рис. 17.2.45

Диаграмма отказов зубчатых колес редуктора электровоза ЧС-7

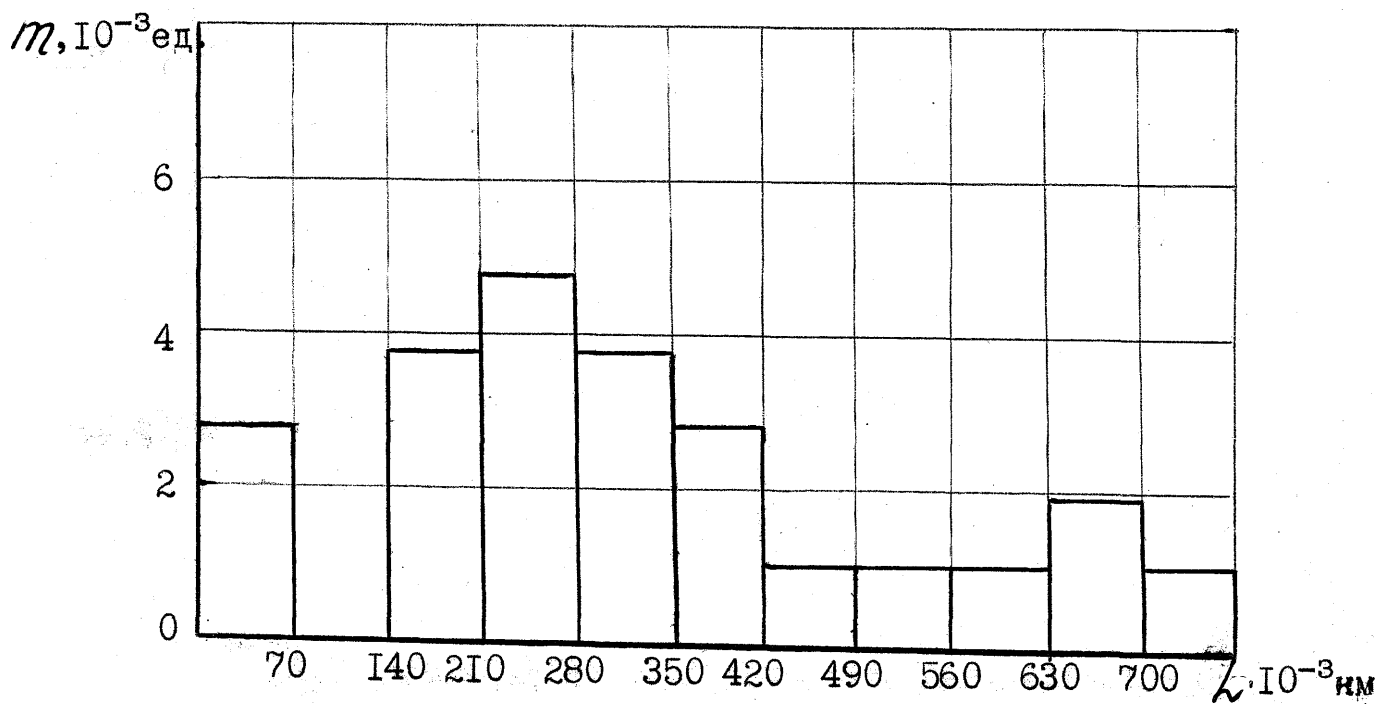


Рис. 17.2.46

Диаграмма неплановых ремонтов из-за ней  
электроаппаратов электровозов ЧС-2

справности

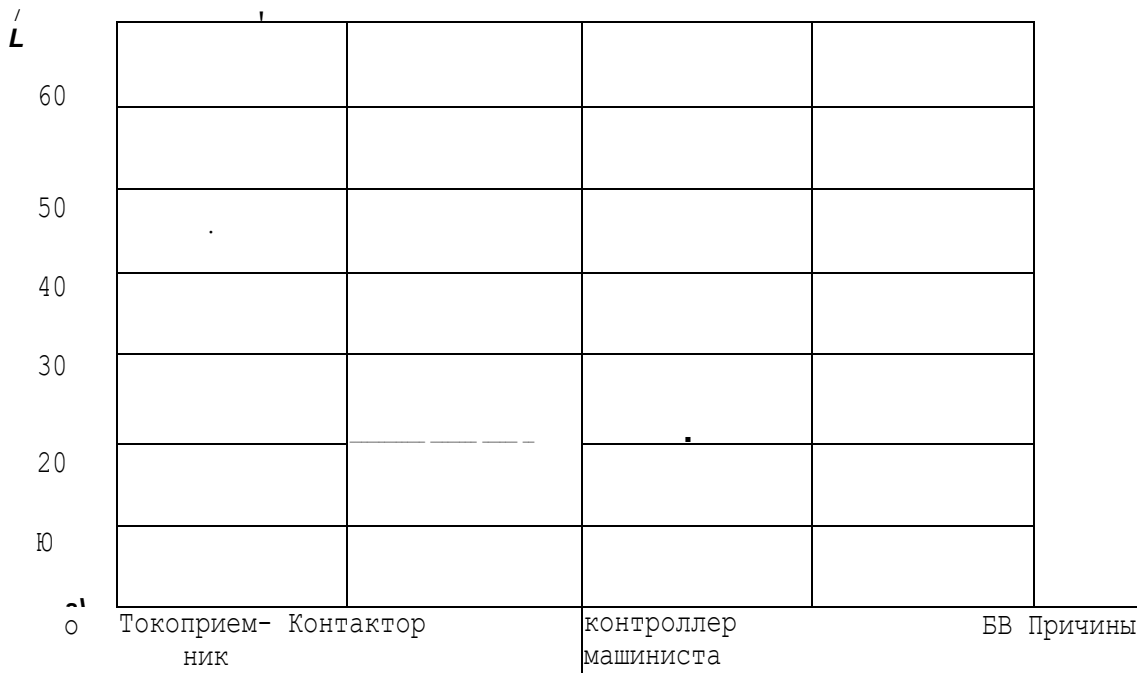


Диаграмма неплановых ремонтов из-за неисправности  
механического оборудования электровозов ЧС-2

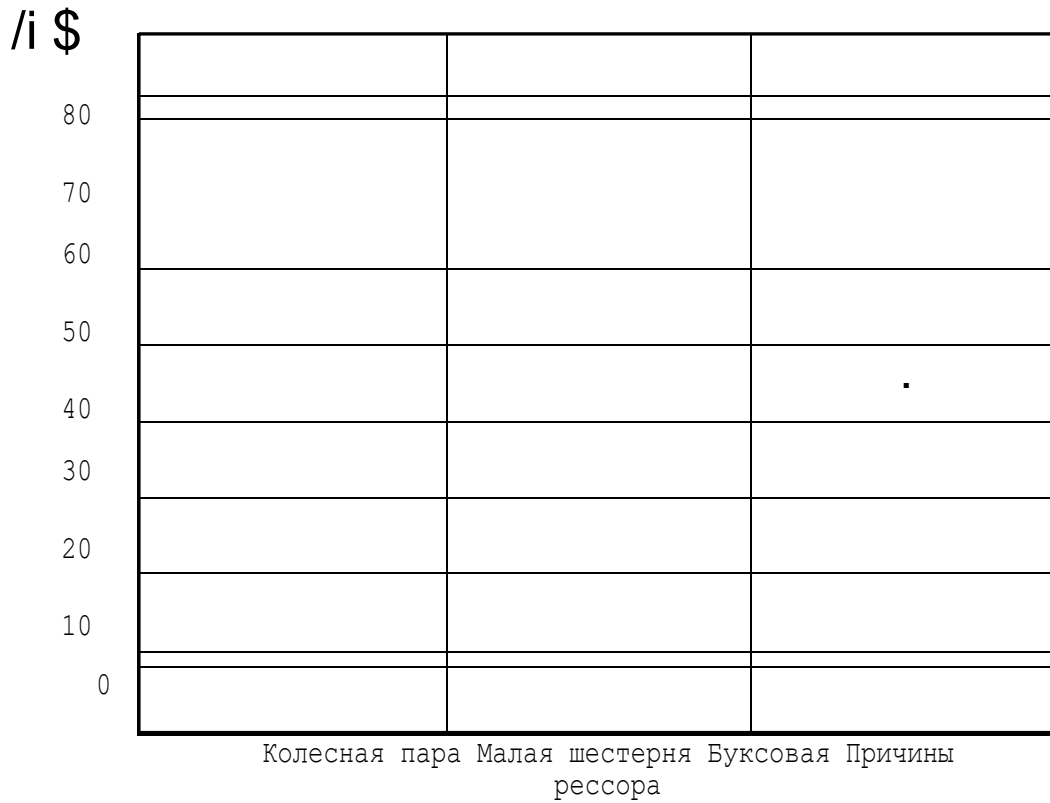


Рис. К

Диаграмма распределения unplanned repairs of electric locomotives ЧС-2

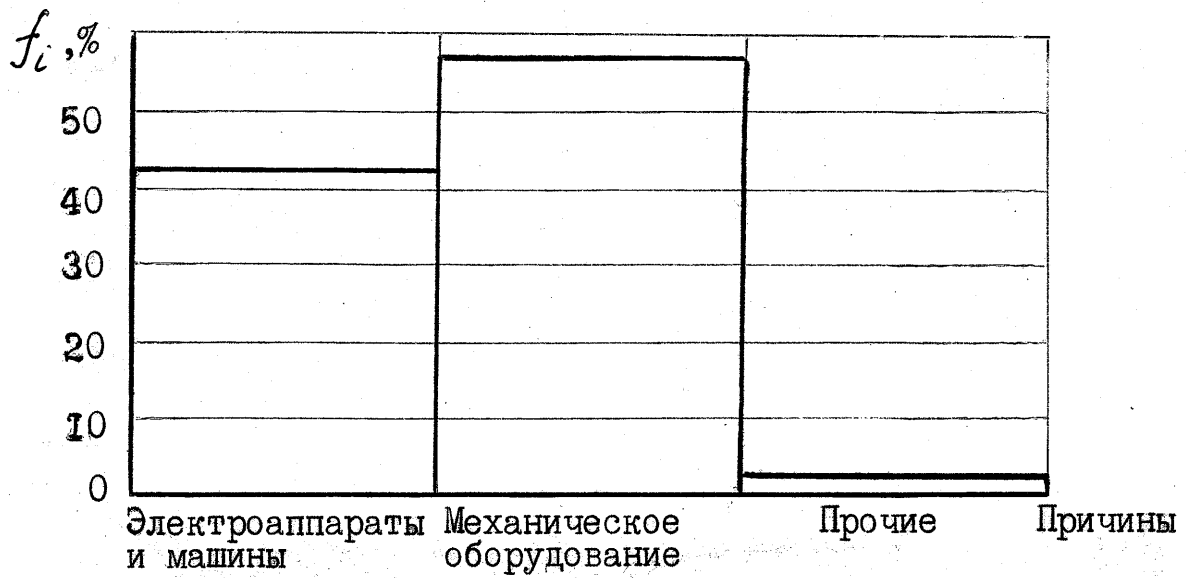


Рис. 17.2.49

Диаграмма распределения unplanned repairs due to electrical machine failures of electric locomotives ЧС-2

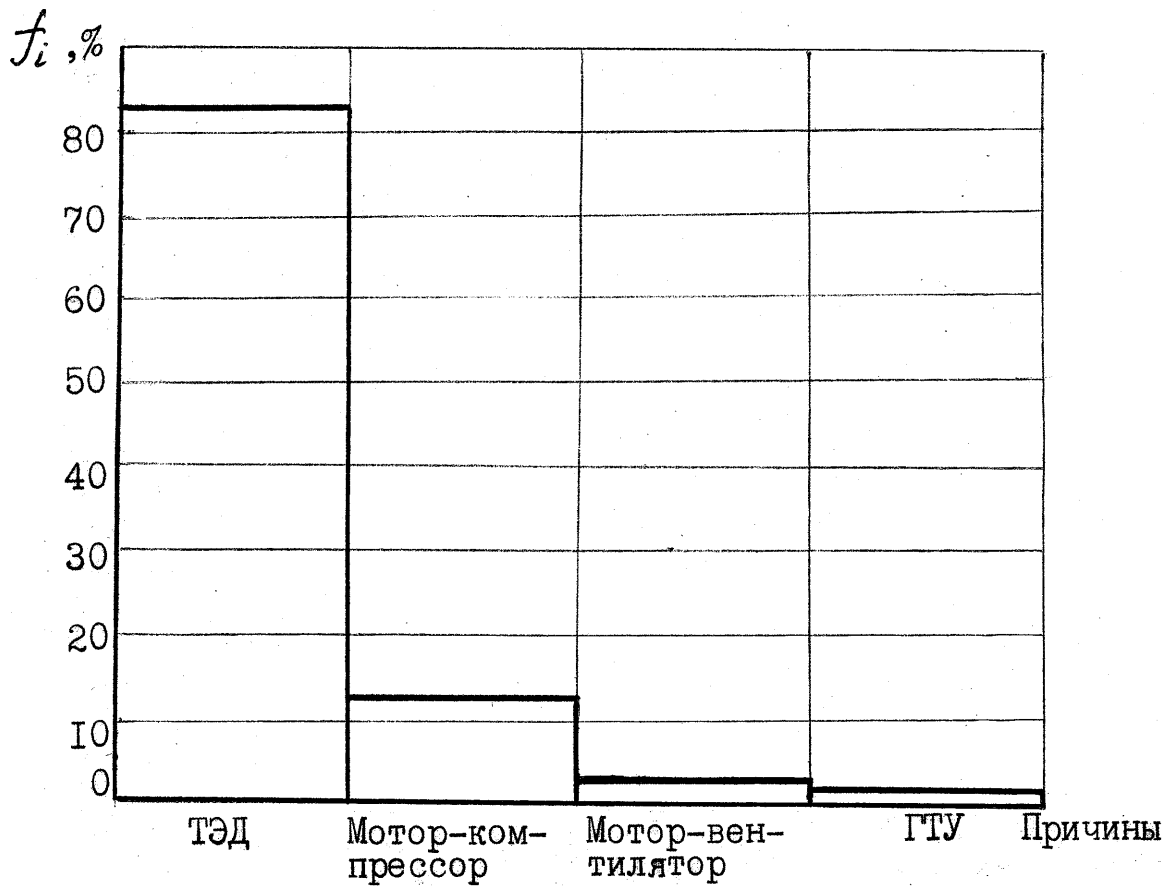


Рис. 17.2.50

Диаграмма распределения количества НР по причинам в целом  
(тепловоз 2ТЭ121, депо Попасная Донецкой ж.д.)

/л/

ос				
30 ок				
20 15				
тл				
к о 0 35% -	25%	15%	14%	11%

Электро- Дيزель АЛСН, Вспом. Экипажна  
оборуд. оборуд. часть  
тормоза

Рис.

Диаграмма распределения количества сверхцикловых работ  
при производстве ТР-1 по причинам в целом  
(тепловоз 2ТЭ121, депо Попасная Донецкой ж.д.)

y/v' ^

30					
25					
20					
15					
10					
5					
0	31%	21%	21%	20%	7%

Электро- Дизель Вспом. АЛСН, Экипажи?  
оборуд. оборуд. автотор- часть  
мо за

Рис. П>2^2

Диаграмма распределения количества НР по причинам:

а) дизель; б) электрооборудование;

(тепловоз 2ТЭ121, депо Попасная Донецкой ж.д.)

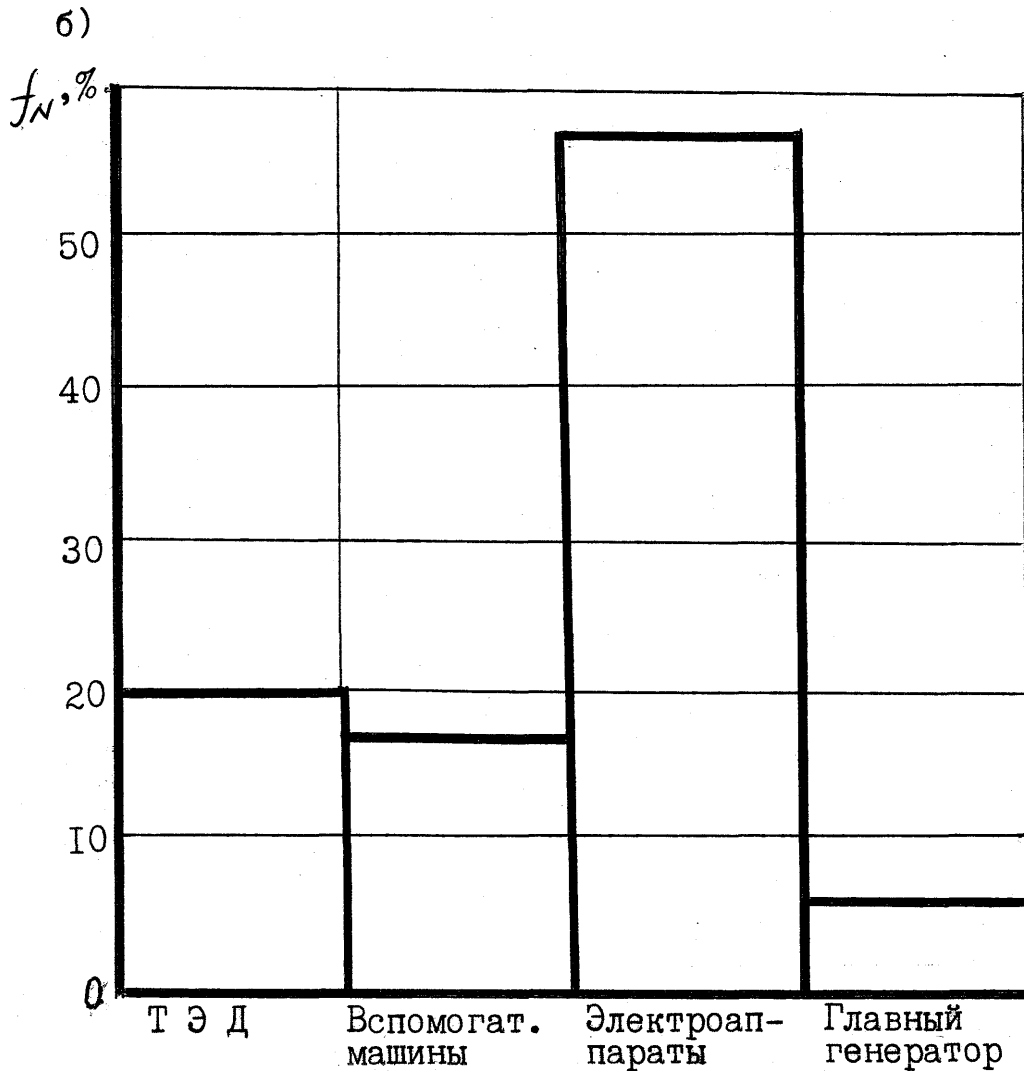
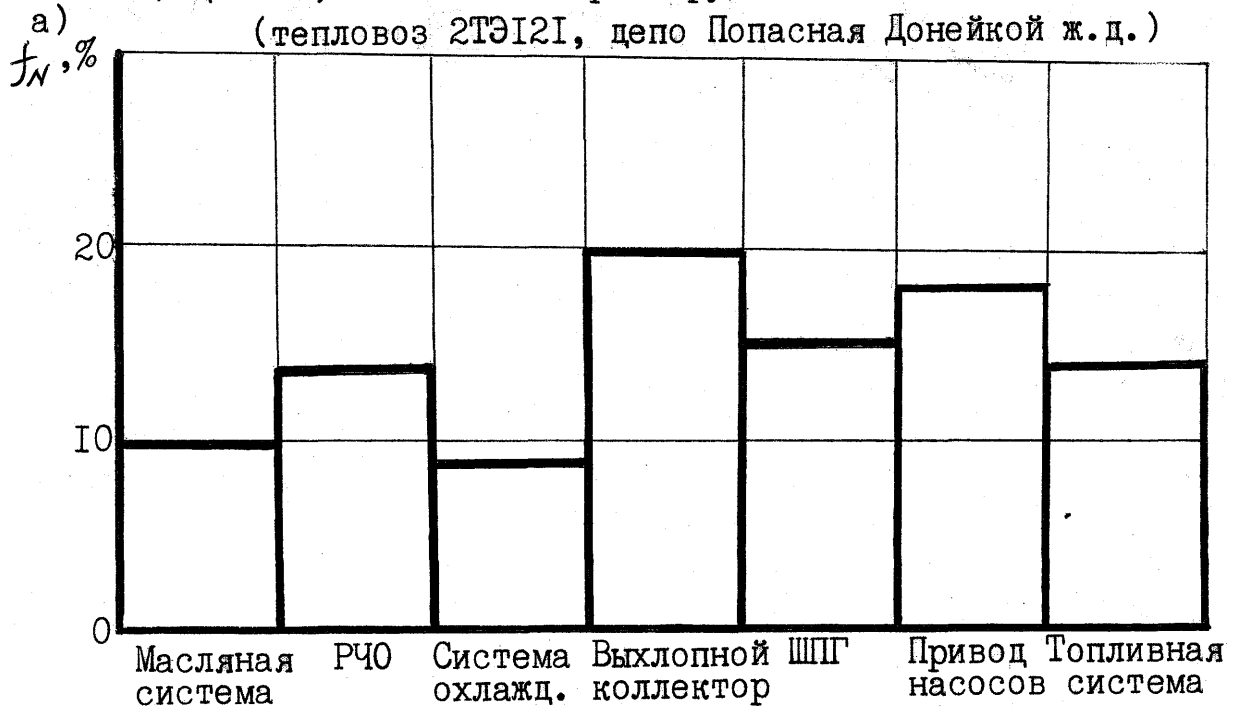


Диаграмма расчет страхового запаса колесных пар  
для электровоза ЧС-2

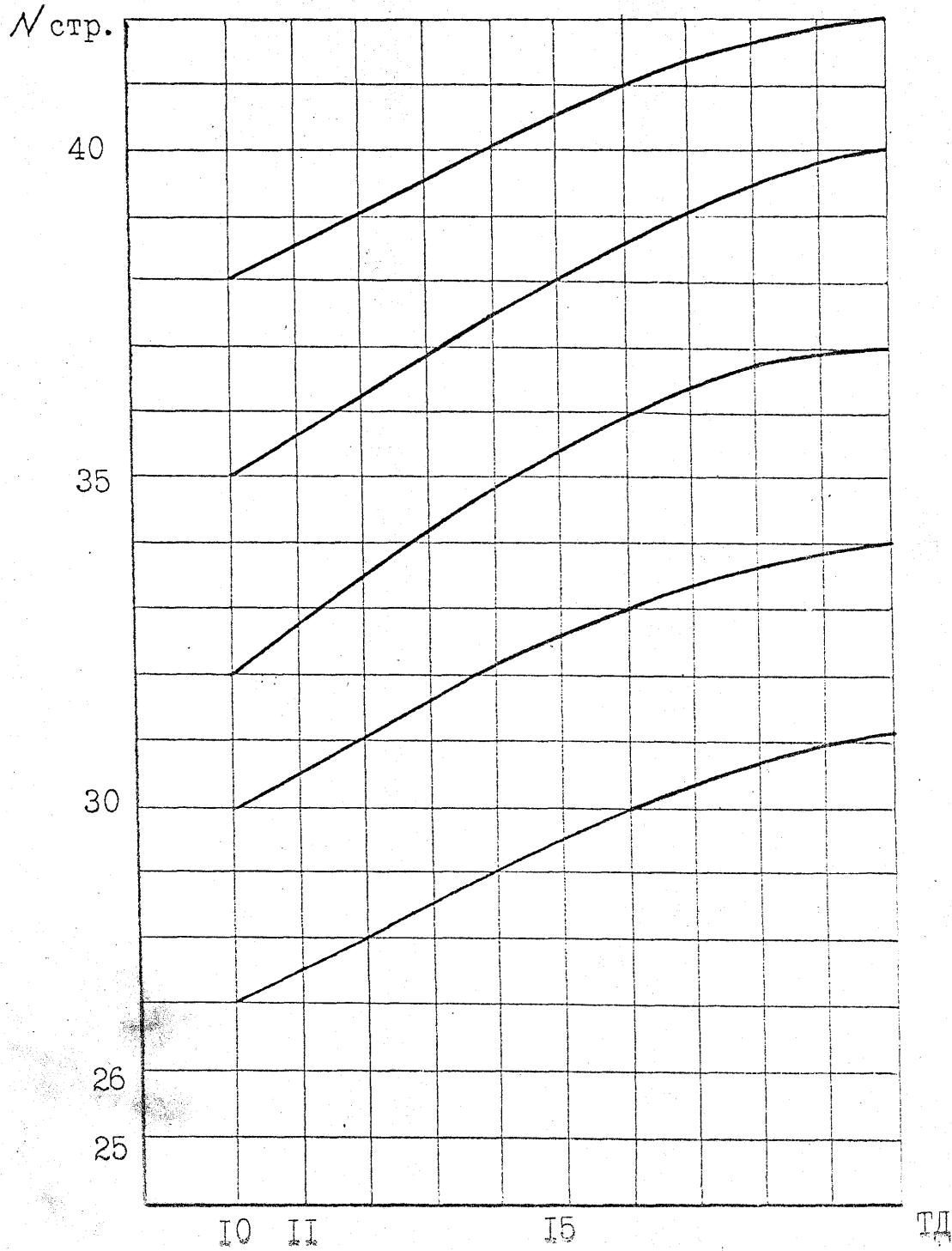


Рис. П2.5!

Диаграмма расчета страхового запаса тяговых  
электродвигателей для электровозов ЧС-2

№стр.

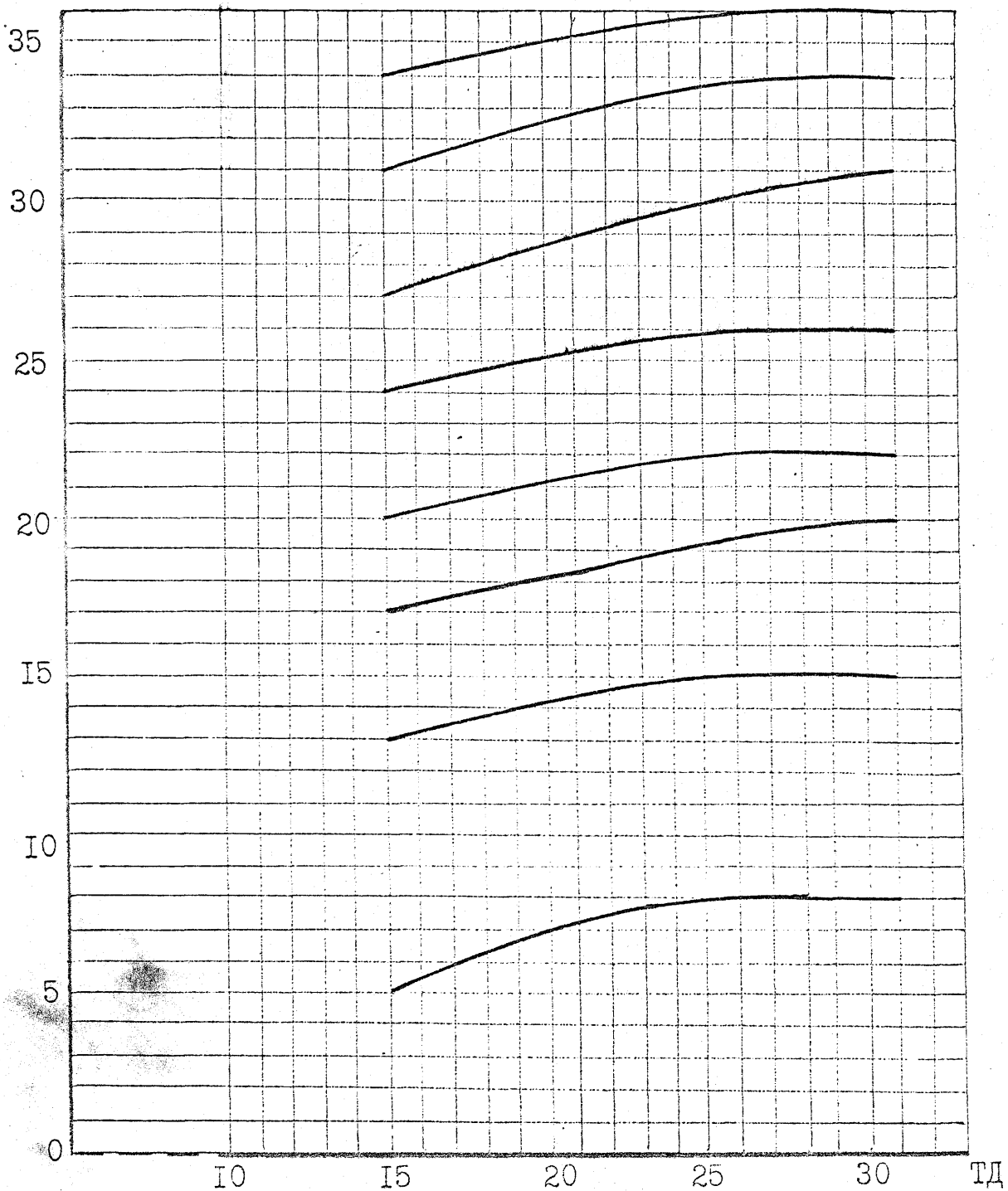


Рис. 17.2.55