

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РЕМОНТА АВТОМОБИЛЕЙ КАК СРЕДСТВА ПОДДЕРЖАНИЯ ИХ РАБОТОСПОСОБНОСТИ НА ОСНОВЕ НЕНАГРУЖЕННОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ.....	
1.1.Источники научного подхода к решению проблем ремонта автомобилей.....	
1.2.Прогнозирование как основа развития технологии ремонта автомобилей.....	
1.3.Прогнозные оценки при проектировании ремонтных предприятий.....	
1.4.Методы прогнозирования, соответствующие особенностям ремонта автомобилей.....	
1.5.Специфичность прогнозирования эксплуатационных показателей автомобилей.....	
1.6.Методы прогнозирования внезапных отказов.....	
1.7.Способы оценки качества прогнозирования.....	
1.8.Выводы по главе.....	
1.9.Цели, задачи и общая методика исследования.....	
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ.....	
2.1.Критерии выбора стратегии эксплуатационного резервирования.....	
2.2.Место прогноза в комплексной системе управления качеством ремонта автомобилей.....	

2.3. Особенности последовательности разработки прогнозов и содержание этапов.....	
2.4. Фундаментальные закономерности, лежащие в основе разработки прогнозов.....	
2.5. Алгоритм выбора метода прогнозирования.....	
2.6. Выводы по главе.....	
ГЛАВА 3. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В РЕМОНТАХ АГРЕГАТОВ И АВТОМОБИЛЕЙ НА ОСНОВЕ УСТОЙЧИВОСТИ СРЕДНИХ ЗНАЧЕНИЙ И ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ЧАСТОТ.....	
3.1. Прогнозирование потребности в ремонтах автомобилей, эксплуатирующихся в северном регионе.....	
3.2. Прогнозирование годовой потребности в ремонтах агрегатов для пополнения оборотного фонда с целью обеспечения работоспособности автомобилей.....	
3.3. Расчет годовой потребности в ремонтных комплектах для поддержания работоспособности автомобилей в северном регионе.....	
3.4. Формирование потока агрегатов, поступающих в ремонт из-за постепенных отказов.....	
3.5. Прогнозирование величин износа деталей автомобилей.....	
3.6. Прогнозирование интенсивности изнашивания деталей автомобиля, описываемой марковскими цепями.....	
3.7. Классификация динамических прогнозных моделей при воздействии на объект прогнозирования независимых факторов.....	
3.8. Выводы по главе.....	
ГЛАВА 4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕМОНТА АВТОМОБИЛЕЙ	

И ИХ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ НА ОСНОВЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ ЗАКОНОВ И ЗАКОНОВ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФУНКЦИЙ СЛУЧАЙНЫХ
АРГУМЕНТОВ.....

4.1.Классификация прогнозных моделей, базирующихся на предельных
законах.....

4.2.Оптимизация допусков размеров деталей, входящих в размерные
группы при селективной
сборке.....

4.3.Методика расчета временных цепей. Баланс сборочной линии

4.4.Прогнозирование внезапных отказов, наступающих из-за отклонений
от технических условий проведения технологических процессов ремонта
автомобилей.....

4.5.Теоремы о числовых характеристиках. Вычисление коэффициентов
корреляционных уравнений на основе схемы формирования объекта
прогнозирования.....

4.6.Прогнозирование наработок до первого отказа коробок передач
автомобиля ЗИЛ-130 после ремонта.....

4.7.Вычисление вероятностей рядов распределения функций случайных
аргументов.....

4.8.Расчет организационных показателей ремонтного предприятия как
системы массового обслуживания.....

4.9.Расчет длительности процесса поточной сборки.....

4.10.Вычисление вероятностей ряда распределения прогнозируемой
ошибки
механизма.....

4.11.Экстраполяция реализаций случайных процессов изменения ошибок

механизмов.....	
4.12. Выводы по главе.....	
ГЛАВА 5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОПЫТНОПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОВЕРКА МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБНОСТИ В РЕМОНТАХ АГРЕГАТОВ И АВТОМОБИЛЕЙ.....	
5.1. Факторы, обуславливающие стремительное истощение ресурса автомобилей, эксплуатирующихся на севере.....	
5.2. Организация и планирование эксперимента.....	
5.3. Определение порядка прогнозной модели при однофакторной зависимости на основе свойств конечных разностей при постоянном шаге.....	
5.4. Определение порядка и вида прогнозной модели в случае многофакторной зависимости.....	
5.5. Оценивание порядка прогнозной модели при переменном шаге	
5.6. Прогнозирование ресурса агрегатов после ремонта на основе метода коллективной экспертной оценки.....	
5.7. Опытно-производственная проверка прогнозных моделей потребности в ремонтах агрегатов и автомобилей.....	
5.8. Выводы по главе.....	
ГЛАВА 6. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ, ДОСТОВЕРНОСТИ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ, АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ И ПРО-ГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБНОСТИ В РЕМОНТАХ АГРЕГАТОВ.....	
6.1. Показатель эффективности прогноза.....	
6.2. Оценка параметров прогноза при постепенных отказах.....	
6.3. Оценка параметров прогноза при внезапных отказах.....	

6.4. Параметры эффективности прогноза эксплуатационных показателей, распределенных по закону Вейбулла.....	239
6.5. Источники экономического эффекта прогнозных моделей.....	241
6.6. Экономическая эффективность прогнозирования при формировании ремонтных комплектов на примере двигателя ЯМЗ-240Н.....	243
6.7. Эффективность использования предварительной информации при прогнозировании работоспособности автомобилей.....	253
6.8. Алгоритмические и программные средства для реализации методов подсистемы прогнозирования в автотранспортных предприятиях.....	262
6.9. Выводы по главе.....	264
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	267
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	274
Приложение 1.....	301
Приложение 2.....	309
Приложение 3.....	315
Приложение 4.....	318
Приложение 5.....	320
Приложение 6.....	323
Приложение 7.....	326
Приложение 8.....	330
Приложение 9.....	334
Приложение 10.....	336
Приложение 11.....	338
Приложение 12.....	340

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Перевозочный процесс в северном регионе - важнейшем поставщике на мировой рынок руды, нефти, газа, цветных и драгоценных металлов - осуществляется, в основном, автомобильным транспортом, на долю которого приходится более 85 процентов перевозок пассажиров, технологических и хозяйственных грузов. Его особенности обусловлены многочисленными отрицательно влияющими на изменение технического состояния автомобилей факторами, в частности,

-неблагоприятными дорожными условиями: в течение трех четвертей года дороги представляют собой зимники, перемежающиеся с бездорожьем из-за постоянно протекающих криогенных процессов, вызывающих пучинообразование, сплывы, сползания, а также из-за термокарстовых явлений, приводящих к появлению воронок, провалов, углублений;

-сложными условиями движения особенно при перевозке технологических грузов из-за сверхнормативных подъемов и спусков, постоянно работающей на линии дорожной техники, резких изменений продольного профиля и малых радиусов поворотов;

-экстремальными природно-климатическими условиями, охватывающими колебания температуры (до 40 градусов в течение месяца), скорость ветра до 40 м/с, туманы, метели, толщину снежного покрова до 3,5 м, полярную ночь, магнитные бури, отрицательно влияющими на надежность системы “водитель - автомобиль - дорога - среда”, усиливаемыми агрессивностью окружающей среды, характеризуемой сверхнормативной концентрацией окислов серы и тяжелых металлов (максимальное превышение - 25 предельно допустимых норм).

Удаленность региона от заводов-изготовителей автомобилей, агрегатов,

запасных частей и оборудования, отсутствие с ними эффективного прямого и регулярного транспортного сообщения является одной из основных причин, затрудняющих внедрение фирменного ремонта. Она предполагает организацию в обособленном промышленном районе собственной региональной производственно-технической базы для поддержания работоспособности, обеспечивающей заданную техническую готовность автомобильного парка, с использованием ненагруженного резервирования, предусматривающего создание и пополнение оборотного фонда агрегатов.

Завершающийся процесс создания регионального автотранспортного объединения, позволяющего на основе концентрации, кооперирования и предметной специализации производственных подразделений повысить уровень механизации и применить прогрессивную технологию проведения технических обслуживаний и ремонтов, открывает возможность оперативно принимать оптимальные управленческие решения в часто возникающих сложных нестандартных ситуациях.

Особую значимость приобретает совершенствование планово-предупредительной системы ремонта на базе диагностирования. Оно является радикальным средством получения информации для углубления предупредительной стратегии и, как следствие, оптимизации потребности в ремонтах агрегатов и автомобилей. Основой повышения эффективности использования автомобильного парка являются точные и достоверные прогнозы, формируемые с помощью адекватных реальным ситуациям, имеющим место в эксплуатации и ремонте, моделей. Они позволяют выносить обоснованные суждения о результатах активного воздействия на управляемые факторы, получая соответствующие варианты будущих состояний объектов.

Обеспечение принятия эффективных решений в условиях

неопределенности, обусловленной перечисленными выше широко варьирующими неблагоприятными факторами и их взаимодействиями, дает возможность существенно снизить затраты на поддержание работоспособности автомобильного парка, сберегая материальные и трудовые ресурсы, что представляется актуальной научной проблемой, имеющей важное народнохозяйственное значение.

Цель исследования - теоретическое обоснование и разработка методических основ прогнозирования оптимальной потребности в ремонтах агрегатов и автомобилей для обеспечения работоспособности автомобильного парка северного региона.

Научная новизна. Разработана классификация методов прогнозирования потребности в ремонтах агрегатов и автомобилей, а также прогнозирования показателей надежности агрегатов после ремонта, базирующаяся на фундаментальных вероятностных закономерностях. Она включает методы прогнозирования, основанные на свойствах устойчивости средних значений, относительных частот, предельных распределений, а также на законах нахождения мгновенных распределений, характеризующих состояние объекта в конкретный момент времени.

Выбор метода прогнозирования осуществляется с помощью критериев, согласующих доверительную вероятность, количество и качество информации об объекте и требуемую точность прогноза. Классификация последовательная, с единым признаком, исключающим пересечение классов, охватывает все объекты, проста и алгоритмизируема.

Предложена принципиальная последовательность выбора метода прогнозирования, позволяющая с помощью несложных итераций отнести объект к одному из классов в соответствии с имеющейся о нем информацией.

Предложен способ прогнозирования потребности в ремонтах агрегатов и автомобилей для обеспечения работоспособности автомобильного парка, базирующийся на численных методах, удобных при составлении машинных программ. Он позволяет учитывать любое число факторов, влияние которых на объект может быть оценено экспериментально либо посредством известных закономерностей. Способ основан на использовании причинно-следственных связей и позволяет формировать прогнозные модели, отображающие возможные будущие состояния объекта при активном воздействии на него посредством управляемых факторов.

Разработан способ формирования ремонтных комплектов на основе штатной информации инженерно-технических служб автотранспортных предприятий, позволяющий определять число и номенклатуру комплектов, базируясь на устойчивости средних значений и объективных статистических критериях.

На основе фундаментальных закономерностей теории вероятностей разработана классификация динамических моделей, а также приведены количественные критерии, дающие возможность оценивать экспериментальные зависимости с позиций устойчивости средних значений отклика, допустимой погрешности, величины коэффициента корреляции и адекватности модели экспериментальным данным.

Предложена классификация прогнозных моделей, базирующихся на предельных вероятностных законах, которые обладают свойствами устойчивости и безграничной делимости и позволяют использовать априорную информацию, содержащую зависимые факторы, и применять экспериментальные данные, получаемые в ходе наблюдений за естественным ходом процессов, не прибегая к трудоемкому и дорогостоящему активному

экспериментированию.

Разработаны методики прогнозирования постепенных и внезапных отказов, позволяющие оценивать уровень качества ремонта агрегатов по величине начальных ошибок механизмов и возможных отклонений от технологии ремонта.

Представлены теоремы о числовых характеристиках случайных величин, их доказательство дает возможность непосредственно вводить в прогнозные модели параметры, найденные по результатам ранее выполненных исследований, существенно сокращая объем и продолжительность экспериментов, максимально используя предварительную информацию об объектах прогнозирования.

Приведена методика построения прогнозных моделей, использующая результаты ранее выполненных исследований, содержащих информацию в виде регрессионных зависимостей и случайных функций.

Разработан способ вычисления организационных показателей ремонтных предприятий, цехов и участков как систем массового обслуживания, работающих в нестационарном режиме при произвольных законах распределения входящего потока и потока обслуживания. Он позволяет обосновывать программу предприятия, находить длину очереди и время ожидания, распределение выходящего потока и другие показатели, которые невозможно найти, используя традиционные модели массового обслуживания.

Представлена методика экстраполяции реализации случайной функции наработки от величины ошибки механизма в соответствии с критерием минимального среднего квадратического отклонения значений, найденных в узлах экстраполяции от априорных и апостериорных значений, полученных в результате наблюдений и прогноза. Отличие от известного метода

экстраполяции, базирующегося на априорной информации, состоит в том, что предлагаемый способ основан на прогнозах воздействий факторов на отклик, их взаимной связи и значимости.

Предложен способ определения порядка и вида одно и многофакторных прогнозных моделей, основанный на анализе экспериментальных данных с помощью вычисления и использования свойств конечных разностей, а также данных наблюдений на основе свойств разделенных разностей, способ сокращает объем вычислений и позволяет находить по простым соотношениям параметры наиболее часто употребляемых прогнозных моделей.

Представлен способ оценки количества и значимости информации, заключенной в высказываниях экспертов, входящих в группу, сформированную с учетом возможности получения максимальной и разносторонней информации об объекте.

Предложен показатель оценки точности и достоверности прогноза, выражаемый разностью априорной и апостериорной энтропий, устанавливающий связь между интервалом варьирования прогнозируемой величины, доверительной вероятностью, неопределенностью системы и информацией, содержащейся в прогнозной модели, благодаря чему у исследователя всегда есть количественная оценка известного и неизвестного, стимулирующая дальнейший поиск.

Разработана методика количественной оценки значимости и эффективности ранее выполненных исследований, результаты которых используются при формировании прогнозной модели, снижая затраты труда, средств и времени.

Предложен способ оценки экономической эффективности прогнозирования потребности в ремонтах агрегатов, а также прогнозирования

показателей надежности изделий после ремонта с целью установления уровня качества и соответствующей надбавки к цене отремонтированных агрегатов автомобиля.

Практическая ценность. Выполненные исследования открывают возможность принимать оптимальные управленческие решения в условиях неопределенности, способствующие наиболее полному использованию ресурса автомобилей и агрегатов, сокращая затраты материальных и трудовых ресурсов на поддержание работоспособности автомобильного парка, и создающие условия для рациональной организации производственно-технической базы автотранспортных объединений на основе прогрессивной индустриальной технологии ремонта.

Реализация результатов исследований. Научные результаты исследований: Положение и методические указания к расчету потребности в ремонтах агрегатов и автомобилей, методики прогнозирования эксплуатационных показателей качества автомобилей и агрегатов после ремонта, методы оптимизации, машинные программы и рекомендации внедрены в перечисленных ниже предприятиях и организациях.

Автотранспортное объединение “ЦАТК” АО Норильский никель: выполнены расчеты к переоснащению технологическим оборудованием и проект планировок ремонтных участков, разработана методика и выполнен расчет потребности в ремонтах двигателей ЯМЗ-240Н, рассчитаны варианты продолжительности поточной сборки автомобилей БелАЗ-75485.

Горно-транспортное предприятие АО НН: рассчитана номенклатура и количество единиц технологического оборудования и осуществлена планировка ремонтного цеха, спроектирована технология и оснастка для восстановления коленчатых валов двигателя ЯМЗ-236.

Производственное объединение Норильскбыт АО НН: произведены расчеты количества и номенклатуры технологического оборудования и выполнена планировка зон ТО и ремонта, рассчитана потребность в запасных частях для автомобилей семейства КамАЗ.

Управление автомобильных дорог и снегоборьбы АО НН: выполнены расчеты количества и номенклатуры технологического оборудования и осуществлена планировка зон ТО и ТР, рассчитана потребность в ремонтных комплектах для специальных автомобилей.

Норильское производственное объединение пассажирского автотранспорта: произведены расчеты к проекту реконструкции ремонтного участка, установлены нормы точности деталей рулевого механизма автобусов ЛиАЗ-677.

Результаты работы использованы при подготовке инженеров - механиков в области ремонта автомобилей в учебном процессе Московского автомобильно-дорожного института (технического университета) при издании двух учебников, Красноярского политехнического института и Норильского индустриального института, где издано три учебных пособия, 17 методических пособий, поставлено 7 лабораторных работ.

Апробация. Содержание и результаты работы докладывались на XXXI и XXXII научно-технических конференциях Московского автомобильно-дорожного института (технического университета) в 1973, 1974 г.г., на XX заседании научно-технического совета по надежности при Госстандарте СССР в 1974 г., на заседании секции ремонта автомобилей Научно-исследовательского института автомобильного транспорта в 1974 г., на ежегодных научно-технических конференциях Красноярского политехнического института в 1975... 1982 г.г., Норильского индустриального института в 1983...1998 г.г.,

Сибирского автомобильно-дорожного института в 1983...1987 г.г., на международной конференции YOGTRIB - 95 в г. Херцог-Нови в 1995 г.

Публикации. Основное содержание диссертации и вопросы, связанные с решением проблемы опубликованы в 77 работах автора, в числе которых 3 учебных пособия, 17 методических пособий, авторское свидетельство и 56 статей.

Предмет защиты - решение научной проблемы прогнозирования потребности в ремонтах агрегатов и автомобилей для обеспечения работоспособности автомобильного парка северного региона, имеющей важное народнохозяйственное значение, обосновывающее программу ремонта, организационные показатели предприятий, цехов и участков, тип производства и применяемую технологию.

На защиту выносятся решение совокупности научных и технических задач обоснования методов прогнозирования потребности в ремонтах агрегатов и автомобилей, включающих:

-классификацию методов прогнозирования потребности в ремонтах агрегатов и автомобилей, а также прогнозирования показателей надежности агрегатов после ремонта;

-методику прогнозирования потребности в ремонтах агрегатов и автомобилей;

-методику формирования ремонтных комплектов, включая их номенклатуру и количество;

-классификацию динамических прогнозных моделей;
классификацию прогнозных моделей, базирующихся на предельных законах;

-методики прогнозирования внезапных и постепенных отказов агрегатов после ремонта;

-способы вычисления корреляционных моментов и коэффициентов корреляции на основе схемы формирования объекта прогнозирования;

-методику вычисления организационных показателей ремонтных предприятий, цехов и участков, работающих в нестационарном режиме при произвольных законах распределения входящих потоков и потоков обслуживания;

-методику экстраполяции реализации случайной функции наработки от величины ошибки механизма;

-способ определения порядка и вида одно и многофакторных прогнозных моделей;

-способ оценки количества и значимости информации, содержащейся в высказываниях экспертов;

-методику оценки точности и достоверности прогнозов показателей надежности агрегатов после ремонта;

-способ количественной оценки значимости и эффективности результатов ранее выполненных исследований, использованных при формировании прогнозных моделей;

-способ оценки экономической эффективности прогнозирования потребности в ремонтах агрегатов;

-результаты экспериментальных исследований, устанавливающих значения корректирующих коэффициентов и оценивающих ошибки прогнозов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, библиографического списка из 311 наименований, содержит 300 страниц текста, в том числе 59 таблиц, 28 иллюстраций, сопровождается 12 приложениями на 55 страницах.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РЕМОНТА АВТОМОБИЛЕЙ КАК СРЕДСТВА ПОДДЕРЖАНИЯ ИХ РАБОТОСПОСОБНОСТИ НА ОСНОВЕ НЕНАГРУЖЕННОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ

В процессе эксплуатации на автомобиль воздействует большое число неуправляемых и трудно контролируемых факторов, каждый из которых по отдельности или во взаимодействии с другими существенно влияют на работоспособность. «Повреждения, которым подвержены отдельные части машин и т.д., по природе своей случайны, а потому также случаен и обуславливаемый ими ремонт. Однако из массы ремонтных работ выделяются два вида, которые имеют более или менее постоянный характер и приходятся на различные периоды жизни основного капитала: болезни детства и несравненно более многочисленные болезни возраста, вышедшего за пределы средней продолжительности жизни. Например, какой бы совершенной конструкции машина не вступала бы в процесс производства, при ее употреблении на практике обнаруживаются недостатки, которые приходится исправлять дополнительным трудом» [193].

Три мысли в короткой фразе К. Маркса: случайность повреждений и ремонта, объективная необходимость последнего и разделение «болезней детства» и «болезней возраста» - являются определяющими в деятельности эксплуатационников и ремонтников, которая невозможна без прогноза либо инстинктивного (в повседневной работе постоянно, буквально на каждом шагу), либо интуитивного (на базе знаний и прошлого опыта), либо расчетного, когда последствия от принимаемого решения серьезны.

Прогнозирование - вероятностное суждение о будущем - имеет смысл, как для совокупности большого числа, так и для одного конкретного события, но,

как пишет Е. С. Вентцель [65], “при практическом применении вероятностных методов исследования всегда необходимо давать себе отчет в том, действительно ли исследуемое случайное явление принадлежит к категории массовых явлений... Например, выражение “вероятность поражения самолета в воздушном бою для данных условий равна 0,7” имеет определенный конкретный смысл, потому что воздушные бои мыслятся как массовые операции, которые будут неоднократно повторяться в приблизительно аналогичных условиях”.

Одной из важнейших предпосылок прогнозирования, сформулированных К.Шенноном [275] является следующая: "В общем, физическое предсказание зависит в основном от предположения, что закономерности, наблюдавшиеся в прошлом, будут сохранены в будущем".

И наконец, прогноз точен и достоверен только тогда, когда он базируется на фундаментальных законах теоретических и прикладных наук.

1.1. ИСТОЧНИКИ НАУЧНОГО ПОДХОДА К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМ РЕМОНТА АВТОМОБИЛЕЙ

В 30-е годы ремонт автомобилей перестает быть делом искусных мастеров благодаря научным основам, заложенным профессором В. В. Ефремовым, положившим начало индустриальному ремонтному производству [120].

Впервые были разработаны и воплощены принципы экспериментирования с учетом специфики конструкции, производства, ремонта и эксплуатации автомобилей, установлены нормы точности, регламентирующие качество восстановления важнейших узлов и, таким образом, проложен путь дальнейшим исследованиям взаимной связи технологических параметров капитально отремонтированных автомобилей и их эксплуатационных свойств,

целенаправленному совершенствованию организации ремонта и технологии восстановления деталей.

На основе полученных в эксплуатации данных профессором В.В. Ефремовым повсеместное применение нашло нагруженное резервирование, реализованное в виде стандартных ремонтных размеров, позволившее при минимальных затратах в несколько раз увеличить срок службы агрегатов и автомобилей.

Развитие идей профессора В.В. Ефремова получило в исследованиях профессоров Л.В. Дехтеринского [98,99,128] и К.Т. Кошкина [157].

Профессором Л.В. Дехтеринским [98] был сформулирован круг проблем, глубоко исследованы и разрешены первостепенные задачи ремонта автомобилей с использованием эффективного математического аппарата, современных методов планирования, организации проведения, обработки и интерпретации результатов экспериментов:

- оптимизация размещения ремонтных предприятий на территории страны;

- оценка экономической эффективности технологии ремонта автомобилей и обоснование срока действия технологии ремонта деталей;

- оценка качества труда исполнителей;

- обоснование норм точности на основе представления изменения ошибки механизма как случайной функции наработки;

- минимизация числа контролируемых параметров при входном контроле;

- автоматизация проектирования технологических процессов;

- эффективность методов достижения точности сборки при ремонте агрегатов и автомобилей;

- заводская аттестация качества отремонтированных изделий.

Профессором Кошкиным К.Т. проведена большая работа по вопросам проектирования ремонтных предприятий, оптимизации маршрутной технологии, внедрения методов восстановления деталей, комплектования и сборки.

Важнейшей частью науки являются труды профессоров В. И. Казарцева [135], А. И. Селиванова [242], Г. В. Крамаренко [160], Е. С. Кузнецова [167], И. С. Левитского [172], В. А. Шадричева [269], Н. Н. Маслова [194], М. П. Мелкова [197], А. Ф. Дергачева [95], внесших огромный вклад в развитие системы знаний о ремонте и эксплуатации машин.

Тогдашняя жесткая по нынешним меркам требовательность к эффективности теоретических и экспериментальных исследований, к дисциплине и качеству труда руководителей и исполнителей решающим образом способствовала укреплению экономики государства.

Высокая культура и энциклопедические знания специалистов того времени позволяли практически на интуитивном уровне давать достаточно объективную предварительную оценку внедряемым организационно-техническим мероприятиям. Только в конце 60-х годов в связи с острой необходимостью, вызванной расширением ремонтного производства во всех отраслях и переводом его на индустриальные рельсы, возникает потребность в разработке методик прогнозирования для использования в инженерных расчетах. К этому времени были опубликованы исследования явлений трения и износа, проведенные отечественными учеными: И. В. Крагельским [158,159], Б. И. Костецким [156], М. М. Хрущевым [266], Ф. П. Верещаком [67,236] и др. Академиком Н. Г. Бруевичем были сформулированы основные положения теории точности [55], академиком Н. А. Бородачевым - основные вопросы теории точности производства [53].

Разработка способов прогнозирования накапливающихся повреждений поверхностей деталей, их наработок до предельного состояния, интенсивности изменения ошибок механизмов автомобилей стала возможной благодаря работам учеников профессора В. В. Ефремова: Г. А. Малышева [187], С. И. Румянцева [236], У. Икрамова [134], В. П. Апсина [34], В. П. Крюкова [100] и др., - стендовым испытаниям деталей и агрегатов [54, 210, 285, 291, 298], натурным испытаниям автомобилей, проведенными НИИАТом [61, 63, 185, 181], НАМИ [45], НАТИ [52], ГосНИТИ [205, 243, 259], МАДИ [32, 42, 200, 267, 285], Институтом машиноведения АН [62, 114], заводами-изготовителями [33, 114, 146, 147, 169] и ремонтными предприятиями [4, 136, 174, 175, 178], ученикам и последователям профессора Г.В.Крамаренко [84, 90, 200, 208, 213].

Сложившаяся методология и обширная информация о влиянии на работоспособность машин технологических параметров создала предпосылки для оптимального планирования экспериментов, выбора математических моделей, описывающих зависимости эксплуатационных показателей от технологических факторов и их взаимодействий.

1. 2. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАК ОСНОВА РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА АВТОМОБИЛЕЙ

Работоспособность автомобильного парка северного региона поддерживается путем резервирования. Его важнейшей составной частью является ремонт агрегатов и автомобилей. Совершенствование ремонта, назначением которого является восстановление ресурса автомобилей при заданном их качестве и количестве, осуществляется при постоянном и планомерном внедрении технических, организационных и экономических мероприятий

комплексной системы управления качеством ремонта (КС УКР), предложенной Л.В.Дехтеринским. Целенаправленность и оптимальность процесса совершенствования обеспечивается прогнозированием на основе фундаментальных законов естественных и прикладных наук. Оно охватывает все аспекты ремонта по вертикали (от прогнозирования состояния автомобильного парка и потребности в ремонтах до величины компенсации износа поверхности детали) и по горизонтали (от прогноза качества ремфонда до аттестации качества отремонтированных изделий).

Для нормального функционирования такой большой и сложной подсистемы необходима совокупность методов прогнозирования и средств реализации прогнозов, образующих большую и сложную подсистему прогнозирования. КС УКР является проблемосодержащей подсистемой, поскольку управление качеством требует существенных затрат на реконструкцию зданий и сооружений, приобретение и модернизацию технологического оборудования, на пополнение производственных запасов и стимулирование труда исполнителей.

Подсистема прогнозирования, на основе которой устанавливается категория качества и дифференцированная надбавка к цене отремонтированного изделия, решает эту важнейшую задачу экономики ремонта.

Другая сторона проблемы повышения эффективности ремонта - установление норм точности, шероховатости, твердости и др. физико-механических свойств восстанавливаемых деталей, определяющих технологию восстановления в целом и параметры техпроцессов в частности.

Методы решения этих задач, а также разработка технических условий на все без исключения операции производственного процесса ремонта от приемки

машин до сдачи готовой продукции, организация технологических процессов от входного контроля до сборки, испытания и аттестации не могут совершенствоваться без предварительных прогнозных оценок и проверки эффективности принятых решений при проведении постпрогнозного анализа. Поэтому подсистема прогнозирования качества ремонта, будучи составной частью КС УКР, является системой проблеморазрешающей, прокладывающей пути для совершенствования ремонта, обеспечивающей средства достижения целей и оценивающей эффективность результатов.

Источником экономической эффективности ремонта агрегатов и автомобилей воспроизводства автомобилей является существенное снижение материальных затрат по отношению к производству машин на заводах-изготовителях [99]. Объективная необходимость ремонта заключена в возможности более полного использования ресурса деталей, перераспределения точности размеров элементов конструкции в пределах допуска замыкающего звена, компенсации повреждений и износов путем широкого использования селективной сборки, регулирования и пригонки, восстановления деталей методом ремонтных размеров, пластическим деформированием и др. Воплощение этих идей в ремонте осуществлялось на основе статистических прогнозов, методика которых совершенствовалась с развитием науки, техники и технологии.

Обоснование норм точности и разработка системы определения допусков на геометрические размеры деталей осуществлены профессором В. П. Апсиным [34]. На основе представления процесса изменения ошибки механизма в виде случайной функции наработки удалось оптимально в соответствии с особенностями ремонтного производства и износом деталей в эксплуатации перераспределить допуски замыкающих звеньев между составляющими

звеньями размерных цепей. Это дало возможность существенно повысить эффективность восстановления и повторного использования деталей, расширив допуски на трудоемкие в процессе восстановления и ужесточив на не дефицитные и износостойкие.

На основе многочисленных экспериментов в реальных условиях эксплуатации была установлена устойчивая корреляционная связь между начальной ошибкой механизма и наработкой капитально отремонтированных изделий, что предопределило направление работ по введению аттестации качества изделий на ремонтных предприятиях на основе прогнозирования эксплуатационных свойств [101, 102, 103, 104, 105, 106].

Разработка инженерной методики прогнозирования предполагает выбор и минимизацию числа технологических показателей качества, установление их значимости и построение модели, описывающей изменение ошибки механизма в процессе эксплуатации на основе морфологического метода, базирующегося на знании структуры объекта и оценке возможных сочетаний его элементов.

Для надежной верификации прогноза отбор технологических параметров осуществлялся практически всеми экспертными методами: индивидуальной экспертной оценки, интервью, коллективной экспертной оценки, коллективной генерации идей и др. Дальнейшие предварительные шаги, использованные до построения прогнозной модели, охватывают почти все фактографические методы прогнозирования: экстраполяцию, интерполяцию, функции с гибкой структурой, регрессионные уравнения, факторный анализ и др. В частности, значимость факторов определялась методом случайного баланса, вклад их в изменчивость показателя надежности оценивался по данным предварительного эксперимента с помощью дисперсионного анализа, количественная оценка влияния факторов на параметр оптимизации находилась построением

многофакторной модели посредством полного факторного эксперимента на фоне однородных условий эксплуатации. Следовательно, статистическим методом, являющимся основой для построения прогнозной модели, отнюдь не исчерпывается аппарат прогнозирования, напротив, каждый этап разработки модели предполагает использование нескольких методов в соответствии со спецификой объекта с целью повышения эффективности верификации [99].

Вариант прогнозной модели, представленный многофакторным регрессионным уравнением, исследованный А. Г. Липкиным [175] и С. К. Лосавио [178], предусматривает установление нормативных значений параметров посредством проведения и обработки данных стендовых испытаний и последующую проверку их эффективности в эксплуатационных условиях.

Вариант одномерной случайной функции основан на выборе одного интегрального технологического показателя качества, установлении ограничений на величины остальных и анализе процесса с целью нахождения корреляционной функции, характеризующей связь оценочно-нормативного показателя с наработкой. Этот вариант позволяет контролировать интегральный диагностический параметр непосредственно в эксплуатации, не нарушая естественного процесса эксплуатации и фиксируя реализации случайного процесса.

Благодаря исследованиям, проведенным в эксплуатации [137, 183, 226, 271, 276,] и ремонте [72, 73, 154, 227, 229], стало возможно решение актуальных задач прогнозирования эксплуатационных показателей автомобилей и развитие методов его совершенствования.

Внедрение заводской аттестации изделий после ремонта базируется на определении оптимального числа категорий качества и установлении соответствующей надбавки к цене для каждой категории. Их число зависит от

соотношения затрат на сортировку и экономии от повышения качества. Первые результаты внедрения мероприятий комплексной системы управления качеством ремонта позволили обосновать и обеспечить ремонтным предприятиям самостоятельное и достойное место в экономике.

1. 3. ПРОГНОЗНЫЕ ОЦЕНКИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Плановое задание, или задание на проектирование ремонтного предприятия выдается в соответствии с нормативным прогнозом развития региона, ставящим цели и задачи достижения конкретных результатов. Оно содержит данные экономического характера, обосновывающие целесообразность строительства предприятия для предполагаемого парка автомобилей, и предварительные сведения о наличии коммуникаций, источников электроэнергии и др.

Разработка проектного задания, технического проекта и рабочих чертежей обеспечивается поисковым прогнозом, предусматривающим изыскание средств достижения планируемых результатов. Она осуществляется специализированными проектными организациями, руководствующимися утвержденным плановым заданием.

Установление будущих показателей предприятия осуществляется с помощью статистических и экспертных методов прогнозирования. В соответствии с количеством автомобилей и номенклатурой парка, средней наработкой до предельного состояния по нормативам, разработанным на основе статистического материала, рассчитывается годовая программа и определяется тип производства. По нормативам с использованием коэффициентов, учиты-

вающих особенности будущего предприятия, вычисляется годовая трудоемкость ремонта автомобилей и осуществляется ее распределение по видам работ в соответствии со средними статистическими показателями.

Анализ действующих технологий и применяемого оборудования на аналогичных предприятиях позволяет с учетом специфики проектируемого предприятия выполнить необходимые расчеты и выбрать наиболее эффективный вариант оснащения. Расчеты площадей цехов, складов, административных помещений, параметров производственных корпусов и генерального плана выполняются по методикам, опирающимся на среднестатистические коэффициенты.

Расширение круга задач, связанных с созданием комплексной системы управления качеством ремонта [99], потребовало применения современных методов расчета, учитывающих большое число факторов, влияющих на эффективность производства.

Использование моделей сетевого планирования, линейного программирования, управления запасами позволило уточнить решения задач, создать гибкие методики, приспособленные к учету вариаций многочисленных факторов.

Однако попытки приложения теории массового обслуживания [57, 180, 219, 256, 237,] к расчету программ предприятий дают искаженные результаты из-за несоответствия моделей реальным процессам.

Модели, разработанные И. А. Луйком [181], описывающие потоки заявок на все виды ремонтов и технических обслуживаний и дающие эффективные решения при эксплуатации автомобильных парков, неприменимы в ремонте из-за нестабильности потоков и произвольного распределения времени между поступлениями агрегатов и автомобилей в ремонт. К тому же ремонтное

предприятие представляет собой многофазовую систему, включающую параллельные каналы. Для расчета его показателей как системы массового обслуживания, в частности, длины и времени ожидания в очереди, продолжительности задержек в фазах обслуживания и числа задержанных, показателей недогрузки и распределения выходящего потока нет эффективных методов, позволяющих оценить при проектировании будущие значения этих величин. Кроме того отсутствуют доступные и удобные для составления машинных программ методы, которые давали бы возможность прогнозировать эти показатели при оперативном планировании на действующих предприятиях. Поэтому вопросы использования оборудования, производственных и вспомогательных площадей, организации технологических линий и рабочих мест, а также дифференциации процессов сборки не всегда решаются объективно и рационально. Результатом же является то, что достижение ремонтным предприятием проектной мощности требует длительного периода времени и существенных материальных и трудовых затрат.

1. 4. МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ, СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ОСОБЕННОСТЯМ РЕМОНТА АВТОМОБИЛЕЙ

В прогностике - научной дисциплине о закономерностях разработки прогнозов - ключевым термином является прогноз - научно обоснованное суждение о возможных состояниях объекта в будущем и (или) об альтернативных путях и сроках их достижения [221].

Из других толкований, дополняющих предыдущее, следует отметить определения Э. Янча, рассматривающего прогноз как вероятностное суждение о будущем с относительно высокой степенью достоверности [280], и Р. Брауна,

считающего прогнозом результат объективных вычислений в противовес предсказанию - субъективной оценке будущего [303].

Более конкретной и приемлемой для описания сущности прогнозирования процессов, явлений и событий, имеющих место в системе управления качеством ремонта машин, является рекомендованная Д. М. Гвишиани и В. А. Лисичкиным формулировка: “Прогноз - высказывание, фиксирующее в терминах языковой системы ненаблюдаемое событие и удовлетворяющее следующим условиям:

-в момент высказывания нельзя однозначно определить его истинность и ложность;

-это высказывание содержит указание на пространственный или временной интервал (конечный), внутри которого произойдет прогнозируемое событие;

-в момент высказывания необходимо располагать способами проверки метода прогнозирования, априорной оценки вероятности появления прогнозируемого события, проверки осуществления прогнозируемого события” [220].

В ремонте как поисковые прогнозы, содержанием которых является определение возможных состояний, так и нормативные, назначение которых - выявление путей и сроков достижения возможных состояний (принимаемых в качестве заданных), могут быть различными по периоду упреждения в зависимости от характера объекта прогнозирования.

При выполнении заказов эксплуатационных предприятий по ремонту узлов и агрегатов и при текущем планировании объемов работ используют оперативные прогнозы с упреждением до одного месяца. Для оценки качества ремонта, определения программы, потребности в материалах, запасных частях,

топливных и энергетических ресурсах разрабатываются кратко и среднесрочные прогнозы с периодами упреждения от одного месяца до одного года и от одного года до пяти лет. Расчеты, связанные со сроками действия технологий, с заменой оборудования и реконструкцией предприятия, выполняются на основе долго и дальнесрочных прогнозов с периодами упреждения соответственно от пяти до пятнадцати и свыше пятнадцати лет.

Стремление разработать максимально точный прогноз (с минимальным доверительным интервалом для заданной вероятности) либо максимально достоверный прогноз (с максимальной вероятностью его осуществления для заданного доверительного интервала) предполагает выявление и использование максимального количества информации об объекте. Это и определяет выбор методов прогнозирования в соответствии с классификацией, рекомендованной Комитетом научно-технической терминологии Академии наук [221].

Известно, что программа ремонтного предприятия зависит от наработки до предельного состояния изделия: автомобиля или агрегата. В свою очередь программа во многом определяет организацию и технологию, обеспечивающих качество ремонта. Нарботка до предельного состояния интенсивно используемых автомобилей после ремонта составляет в среднем от полутора до двух лет, новых - от двух с половиной до трех лет, наработка агрегатов - один год. Это дает возможность в относительно короткий промежуток времени получить обширную статистическую информацию о состоянии ремонтного фонда, об эффективности восстановления деталей и качестве сборки.

Зафиксировав параметры узлов или деталей в процессе ремонта и проконтролировав работу автомобиля в эксплуатации, можно получить реализации изменения оценочно-нормативных показателей в зависимости от технологических и эксплуатационных факторов. Поэтому на основных этапах

разработки прогнозов: прогнозного диагноза, прогнозной проспекции, верификации и корректировки - основным является статистический метод.

Эффективность статистического описания как средства получения выводов о закономерностях процессов, явлений и событий существенно усиливается благодаря методам и законам теории вероятностей, логически точным и строгим, обоснованно используемым в математической статистике при выполнении известных условий (массовость, однородность и др.) в силу закона больших чисел. При этом предполагается использование и других фактографических методов в зависимости от целей, задач и особенностей объекта: экстраполяции, интерполяции, экспоненциального сглаживания, регрессионного анализа, цепей Маркова, патентного метода и др. Кроме того на этапах предпрогнозной ориентации, разработки задания на прогноз и прогнозной ретроспекции находят применение экспертные методы прогнозирования: коллективной оценки, интервью, коллективной генерации идей и др.

Прогнозирование в комплексной системе управления качеством является неотъемлемой ее частью. Оно удовлетворяет принципу системности, требующему взаимной увязанности и соподчиненности прогнозов объекта, прогнозного фона и их элементов с учетом обратных связей, а также принципу рентабельности, повышая эффективность производства или снижая возможные потери. Единство целей и задач всех подсистем ремонта обеспечивает осуществление принципа согласованности нормативных и поисковых прогнозов. Наличие достаточного объема, разнообразие источников и характера информации дает возможность разрабатывать несколько вариантов прогноза, исходя из особенностей рабочих гипотез. Наличие обратных связей позволяет корректировать прогнозные модели, что соответствует принципам

вариантности и непрерывности прогнозирования.

Для основных объектов системы благодаря относительно небольшому периоду упреждения и наличию информации может быть своевременно оценена точность, достоверность и обоснованность прогноза как “степень соответствия методов и исходной информации объекту, целям и задачам” [221], проанализированы ошибки и найдены их источники, а также может быть проведена верификация прогнозов любым из известных методов.

1. 5. СПЕЦИФИЧНОСТЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ

Проблема прогнозирования показателей надежности агрегатов и автомобилей, ставшая насущной в конце 60-х годов как для заводоизготовителей, так и для эксплуатационников и ремонтников, решалась на основе успешно развивающихся методов теории вероятностей, математической статистики и общих принципов разработки прогнозов, изложенных в работах А. Н. Колмогорова [148, 149, 150], К. Шеннона [275], Э. Янча [280], В. А. Лисичкина [176, 177], А. Г. Ивахненко [130, 131, 132], В. С. Пугачева [222], Б. В. Васильева [60], С. А. Саркисяна [239, 240, 241], Д. П. Великанова [62], и др. . Этому вопросу посвящены работы В. Я. Аниловича [33], О. В. Берестнева, И. С. Цитовича [276, 277], В. С. Клейнера [144], Г. В. Крамаренко [160], Р. В. Кугеля [169], Е. С. Кузнецова [163, 167], А. И. Луйка [181], В. М. Михлина [205], Р. В. Ротенберга [230, 231, 232, 233], А. М. Холодова [265], А. М. Шейнина [271,273, 274], Ю. В. Чуева [268] и др.

В области прогнозирования технического состояния машин одними из первых были выполнены работы под руководством В. М. Михлина в ГосНИТИ.

При рассмотрении случайного процесса изменения параметра была установлена принципиальная возможность прогнозирования по реализации, позволяющая осуществлять процедуру разработки прогноза индивидуально для каждой машины, и прогнозирования по среднему статистическому значению для оценки перспектив изменения состояния парка [204, 243].

Разработанный Г. К. Купцовой и Ф. Ю. Керимовым [170] метод индивидуального прогнозирования технического состояния двигателей, описываемого некоторым вектором, основан на представлении изменения параметров в виде неслучайной функции и стационарного случайного процесса.

Модели, представленные в исследованиях надежности машин В. Я. Аниловичем, предполагают при известных значениях вектора внешних воздействий (факторов климата, нагрузок), вектора эксплуатационных воздействий (факторов качества диагностирования, технических обслуживаний) и факторов помех (дополнительных факторов, обуславливающих вариацию показателей качества в процессе производства и эксплуатации) определение вектора числа отказов за некоторый промежуток времени [33]. При этом эндогенные факторы, обусловленные конструкцией, технологией изготовления, физико-механическими свойствами материалов, химической агрессивностью внутренней среды, вступая во взаимодействие с экзогенными факторами, вызывают реакцию машины, выражающуюся в появлении вектора потока отказов. Для невозстанавливаемых объектов находят функцию распределения времени безотказной работы, для восстанавливаемых - закон распределения времени между отказами. Здесь же рассматриваются виды прогнозирования: аналитическое (с помощью функциональных и регрессионных зависимостей), вероятностное (с использованием свойств распределений случайных величин и случайных функций) и статистическая классификация, предусматривающая

отнесение процесса к одному из классов, различающихся либо параметрами распределений, либо самими распределениями прогнозируемых показателей. В работе [33] предложен метод граничных испытаний, позволяющий придавать неблагоприятные значения факторам и, не нарушая физическую картину функционирования изделия, проводить ускоренные испытания, а также даны способы решения задач прогнозирования показателей надежности на стадии проектирования с использованием зависимостей, известных к моменту разработки прогноза, результатов обкаток и измерений, проводимых на ремонтных предприятиях.

В работах [206, 207] дано обобщение идей прогнозирования технического состояния машин и выделены два принципиальных подхода к решению задач: алгоритмы экстраполяции и алгоритмы статистической классификации.

Экстраполяция определена как процедура отыскания значения функции в будущий момент времени с помощью модели прогнозирования, построенной в соответствии с информацией о ее поведении в предшествующий период, а статистическая классификация - как процедура принятия решения по прогнозной модели о принадлежности объекта к данному классу по совокупности параметров, полученных в начальный ограниченный период времени. Процесс изменения состояния объекта представлен в виде двух составляющих: детерминированной и стохастической. Стохастические процессы классифицируются по области определения функций (вещественные, комплексные), по характеру изменения времени (дискретные, непрерывные), по виду приращений (стационарные, нестационарные, независимые, марковские), по уровню корреляции (монотонные, флуктуационные), а также по законам распределения в сечениях функций. Учитывая большое число факторов, влияющих на вид модели процесса, необходимо иметь в виду, что для описания

имеющегося разнообразия процессов деградации необходима совокупность методов. Каждый метод должен базироваться на математическом аппарате, соответствующем характеру информации об объекте. В работе рассматриваются четыре варианта моделей экстраполяции. К первому варианту относятся интерполяционные формулы Лагранжа и Ньютона, используемые для детерминированных процессов, метод наименьших квадратов, применяемый, когда случайная составляющая оказывает влияние на характер модели, метод экспоненциального сглаживания, используемый при неравнозначном влиянии информации, полученной в прошлом и в настоящем. Второй вариант - непараметрический матричный метод, служащий для оценки технического состояния партии объектов по небольшой выборке. Третий вариант, предназначенный для описания многомерных случайных величин, предусматривает вычисление коэффициентов модели посредством метода наименьших квадратов. Четвертый вариант, служащий для прогнозирования многомерных случайных функций, практически сводится к первым двум.

Для разработок моделей статистической классификации описаны два подхода. Первый подход предусматривает построение моделей распознавания образов, осуществляемое в два этапа: обучение и экзамен. На первом этапе проводят пробную эксплуатацию объектов в течение некоторого периода, затем формируют два или несколько классов изделий с соответствующими эксплуатационными свойствами, которые описываются, например, функциями плотностей вероятностей. После этого вводят порог сравнения, позволяющий относить изделия к тому или иному классу. На втором этапе контролируют параметры объектов, срок службы которых нужно оценить, принимают решение о принадлежности их к соответствующему классу и по результатам испытаний определяют точность прогноза.

Второй подход - формирование моделей дискриминантного анализа, позволяющих на этапе обучения достаточно несложным способом построить поверхности, разделяющие классы, например, методом наименьших квадратов или методом линейного программирования.

В.В. Болотин [50] отмечает два подхода к прогнозированию: феноменологический, базирующийся на основе обобщения результатов наблюдений и экспериментов и структурный, состоящий в разработке моделей, описывающих явления, опираясь на внутреннюю структуру объектов прогнозирования.

В развитие идеи ввода в расчеты надежности систем анализа физико-механических явлений, приводящих к отказам, представлены кумулятивные модели. Их назначением является вычисление показателей надежности при постепенном накоплении повреждений: пластических деформаций, износов и др. Кроме того, в работе описаны модели марковского типа для диффузионных процессов и модели пуассоновского типа для вычисления показателей высоконадежных систем.

Полуэмпирические (феноменологические) модели максимально просты. При их нахождении используется минимальное количество исходной информации, но они достаточно эффективны при решении инженерных задач, связанных с прогнозированием показателей надежности. Ключевой предпосылкой построения полуэмпирических моделей является введение меры повреждений, а также обоснование правил суммирования повреждений. Это обеспечивается посредством использования скалярной функции времени, которая равна нулю при их отсутствии в начале эксплуатации объекта и равна единице при полной выработке ресурса, и линейным правилом суммирования повреждений во всех случаях за исключением прогнозирования остаточного

ресурса, когда имеет место нелинейный закон. Это вызвано тем, что скорость изнашивания, стабилизируясь после приработки в период нормальной эксплуатации, возрастает вновь еще до исчерпания ресурса.

Построенные по данным ресурсных испытаний полуэмпирические модели охватывают процессы многоциклового усталости, происходящие при напряжениях, не превышающих предела упругости, малоциклового усталости, имеющей место при умеренных пластических деформациях с постепенным развитием трещин, механического изнашивания, сопровождающегося физико-химическими процессами распространения микроскопических трещин, включая их зарождение и инкубационную стадию. Однако область использования полуэмпирических моделей ограничена условиями, которые определены базовыми ресурсными испытаниями.

Этого недостатка нет у структурных моделей. Хотя для построения формальной схемы процесса требуется гораздо больший объем информации и, следовательно, проведение более многочисленных и трудоемких экспериментов, в случае структурных моделей появляется возможность непосредственно использовать ранее накопленные знания или на их основе косвенным путем оценивать структурные параметры. Модели хрупкого разрушения с позиций теории надежности соответствуют последовательному соединению однотипных элементов, если верна гипотеза о разрушении объекта при достижении напряжений, превышающих прочность слабейшего звена. Таким образом, разрушающее напряжение распределено по тому же закону, что и минимальные значения сопротивлений материала образцов при данном напряженном состоянии, распределенных по закону Вейбулла.

Модели пластического типа соответствуют схеме параллельного соединения однотипных элементов, при этом разрушение отдельных элементов

образует совокупность независимых случайных событий, для которых справедлива схема Бернулли. Вводя дополнительные условия, имеющие место в реальных процессах, можно строить более сложные, но зато более точные модели.

Информацией для разработки моделей прогнозирования ресурса на стадии проектирования служат данные о технологии, условиях эксплуатации и нормативные требования к качеству изделия. Целью прогнозирования является обеспечение возможности управления ресурсом. Для описания текущего состояния объекта используется конечное число параметров, характеризующих степень повреждения и износа основных узлов и деталей машины в процессе наработки и формирующих вектор повреждений.

Аналогично описание условий эксплуатации, определяемых величиной нагрузок и их интенсивностью, параметрами окружающей среды и др. Оно осуществляется также с помощью векторного процесса. Таким образом, задача сводится к решению векторного дифференциального уравнения, в левой части которого производная вектора повреждений по времени, в правой - функция вектора повреждений и вектора условий эксплуатации.

Важное место в работе [50] занимает раздел, посвященный прогнозированию остаточного ресурса по индивидуальному техническому состоянию. Автор особо подчеркивает перспективность такого подхода в практике эксплуатации автомобилей. Здесь задача сводится к решению векторного дифференциального уравнения, в левой части которого производная вектора состояний объекта по времени, в правой - функция вектора состояний, вектора внешних воздействий и вектора параметров объекта. Векторы внешних воздействий и состояний объекта - случайные функции времени, вектор параметров объекта задается распределениями вероятностей. Нахождение

апостериорных функций надежности осуществляется путем определения условных законов распределения.

Е. С. Кузнецов [167] при рассмотрении закономерностей изменения текущего состояния и процессов восстановления автомобилей отмечает особую роль марковских процессов, дающих “возможность предвидеть поведение и состояние системы при изменении действующих на нее факторов в отличие от экспериментального подхода, который фиксирует простейшие события и показатели, соответствующие определенному моменту времени и состоянию системы”. Источником реализации плодотворных идей, заложенных в теории марковских процессов, является наличие информации общего характера об определенных свойствах явлений и событий, позволяющей дедуктивно определить вероятности возможных состояний объекта прогнозирования.

Из анализа работ, посвященных прогнозированию, следует, что многообразие физических процессов, происходящих при эксплуатации и ремонте машин, а также широкий круг возникающих при этом задач предполагают различные подходы к их решению и разработку методик, основывающихся на оптимальном сочетании индуктивных и дедуктивных методов и максимально использующих накопленную информацию.

1. 6. МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВНЕЗАПНЫХ ОТКАЗОВ

В соответствии с классификацией отказов по характеру возникновения и возможности прогнозирования, предложенной Е. С. Кузнецовым [167], внезапные отказы могут происходить в любой момент времени. Этим они отличаются от постепенных, особенность которых “состоит в монотонности изменения технического состояния, что создает предпосылки для его

прогнозирования”. Поэтому для разработки прогноза внезапных отказов используют “вероятностную информацию, характеризующую поведение или состояние совокупности автомобилей”. Одним из основных источников такой информации является закон распределения наработки до отказа [79, 218].

К. С. Полянский и А. А. Сельцер [219, 243] разделяют внезапные отказы по характеру их появления на два типа. К первому типу относятся отказы, возникающие вследствие действия пиковых нагрузок, несовершенства конструкции, технологических дефектов ее элементов и нарушений правил эксплуатации, включая аварии, ко второму - отказы, являющиеся следствием снижения прочностных характеристик материала в течение времени эксплуатации до отказа в сочетании с пиковыми нагрузками, превышающими фактически допустимые значения.

В соответствии с характером статистической информации прогнозирование внезапных отказов осуществляется на основе устойчивости законов распределения наработки до отказа для совокупности автомобилей одной модели, функционирующих в однородных условиях эксплуатации. Для этого определяют согласно физическим предпосылкам параметры теоретического распределения (экспоненциального, Вейбулла и др.), по которым находят априорные оценки показателей надежности.

В. В. Болотин [50], рассматривая структурные модели накопления повреждений: модели хрупкого разрушения (слабейшего звена) Вейбулла, модель пластического разрушения Даниэльса, обобщенные модели Вейбулла, описывающие замедленное хрупкое разрушение и процессы накопления рассеянных повреждений, - на основе анализа физической картины приводит более конкретные распределения вероятностей меры повреждений и распределения вероятностей ресурса изделий. Такой подход дает возможность

глубже исследовать процессы зарождения и роста трещин до величины, соответствующей критическому значению и получить прогнозные модели для описания процессов и явлений, приводящих к отказам. Эти модели эффективны на стадии проектирования машин, поскольку позволяют рассчитывать величины допустимых нагрузок, выбирать конструктивные материалы, выполнять расчеты показателей надежности и др.

Практическую ценность для эксплуатационников и ремонтников представляет другая сторона вопроса прогнозирования внезапных отказов: сочетание редких экстремальных воздействий, рассматриваемых как выбросы случайных процессов, с нагрузками, соответствующими нормальным условиям эксплуатации.

В работе [50] с учетом того, что момент возникновения воздействия равномерно распределен в некотором интервале времени, при известной (полученной по статистическим данным) функции распределения экстремальных значений, приведен вывод формулы для отыскания расчетной величины нагрузок и частоты их возникновения.

На величину наработки до отказа существенное влияние оказывает соблюдение правил эксплуатации, режим работы автомобилей и качество проведения технических обслуживаний и текущих ремонтов. Их значимость количественно может быть оценена посредством использования дисперсионного анализа путем сбора статистической информации в конкретных эксплуатационных условиях [9, 72, 73, 137, 246].

Наработка до отказа с позиций потребителей - эксплуатационных предприятий является одним из важнейших показателей качества ремонта. Поэтому прогнозирование внезапных отказов на ремонтном предприятии приобретает особый смысл в части назначения срока гарантии. Причем

методика прогнозирования, базируясь на достижениях в смежных областях знаний, должна учитывать особенности формирования качества изделий на всех стадиях ремонта.

1. 7. СПОСОБЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Обоснованность прогноза как степень соответствия методов и исходной информации объекту, целям и задачам прогнозирования [221] закладывается на этапах, предшествующих его разработке: прогнозной ориентации, прогнозной ретроспекции и прогнозного диагноза. В работах, посвященных прогнозированию, уделяется большое внимание обоснованию методов. Однако оно по существу носит либо вербальный, либо опосредствованный характер, поскольку отсутствуют четкие критерии, которые позволили бы непосредственно оценить степень соответствия рассматриваемых компонент.

При предпрогнозном анализе объекта прогнозирования, осуществляемом на этапе разработки задания на прогноз, применяют способы априорного оценивания информации, а также затрат времени и средств. Это косвенные методы, к которым, например, относится полнота прогнозирования - отношение числа прогнозируемых параметров к общему числу параметров, влияющих на работоспособность изделия [137]. Отношение длительности прогнозируемого периода ко времени ретроспективного анализа - оценка, используемая при технико-экономических расчетах. В соответствии с источником [64] ее величина не должна превышать пятидесяти процентов. Для сравнения методов прогнозирования служит отношение затрат на их разработку к соответствующим периодам упреждения [64].

Более широко представлены способы оценивания при постпрогнозном

анализе объектов [71, 170].

Для точечного прогноза ошибка вычисляется как частное от деления модуля разности действительного значения параметра и прогнозной оценки на величину прогнозной оценки [71].

В случае прогнозирования совокупности событий либо интервального оценивания одного сопоставляются априорные и апостериорные средние значения и соответствующие средние квадратические отклонения или дисперсии [60, 170].

В работах [154, 219] приведен анализ погрешностей прогнозирования. Общая погрешность складывается из погрешности исходной информации, погрешности метода, погрешности вычислений и случайной погрешности, обусловленной действием неучтенных моделью факторов.

Точность как оценка доверительного интервала прогноза для заданной вероятности и достоверность прогноза как оценка вероятности его осуществления для заданного интервала являются прямыми, а потому достаточно простыми и эффективными количественными показателями качества прогнозирования, которые используются при постпрогножном анализе объекта прогнозирования и при верификации прогнозов.

Оценкой действенности прогноза является показатель эффективности прогнозирования - относительное изменение прогнозируемого показателя в результате проведенных организационно-технических мероприятий [27].

Анализ источников показывает, что применяемые показатели качества являются оценками частных характеристик прогнозирования, не связанных между собой единой конструктивной мыслью, а, главное, не дающие количественной оценки имеющегося знания и незнания об объекте. Поэтому необходим дальнейший поиск в этом направлении с целью разработки

показателей, стимулирующих целенаправленность процесса исследования и оценивающего количественно полученные результаты.

1. 8. ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

1. Целесообразность и экономическая эффективность ремонта агрегатов и автомобилей на базе рациональных способов восстановления деталей, оптимальных норм точности, постоянно совершенствующейся технологии и организации производственных процессов, обоснованная теоретически и экспериментально профессором В. В. Ефремовым, нашла подтверждение в многолетней практике и положила начало ремонту как средству обеспечения работоспособности автомобилей на основе резервирования.

2. Накопление и углубление знаний во всех аспектах ремонта, применение достижений фундаментальных и прикладных наук, целенаправленный теоретический поиск, экспериментирование и внедрение в практику ремонта результатов исследований учениками и последователями профессора В. В. Ефремова подготовили предпосылки для разработки эффективных методов прогнозирования и создание комплексной системы управления качеством ремонта, обеспечивающей поддержание работоспособности автомобилей путем ненагруженного резервирования.

3. Обилие статистической информации об объектах, предполагающее использование законов теории вероятностей как мощного средства обоснования методов прогнозирования, позволило, опираясь на свойства устойчивости средних значений и относительных частот, сформулировать простые правила проектирования предприятий, цехов и участков и вычисления их показателей, разработать специфические технологические процессы, ставшие характерной

особенностью ремонта, выполнить расчеты комплектов необходимого оборудования, инструмента и приспособлений для оснащения рабочих мест, внедрять эффективные методы организации труда.

4. Сложная структура объектов, широкая вариация прогнозного фона, эндогенных и экзогенных переменных, разнообразие целей и задач предопределяют применение практически всех известных видов и методов прогнозирования, позволяющих использовать всю совокупность информации об объектах с целью достижения максимальной точности и достоверности прогнозов.

При этом основным является статистический метод, позволяющий собрать обширную информацию, провести предпрогнозный анализ и, главное, в предельно короткие сроки получить исчерпывающие данные для постпрогнозного анализа и, таким образом, сопоставить прогнозные значения объекта с его фактическим состоянием по истечении периода упреждения.

5. Новый импульс развитию практических методов прогнозирования в области эксплуатации и ремонта автомобилей был дан профессором Л. В. Дехтеринским в связи с обоснованием процессов формирования свойств устойчивости законов распределения параметров изделий в ключевых аспектах обеспечения качества: при разборке, восстановлении деталей и сборке изделий. Он послужил началу эффективного применения мощного математического аппарата исследования операций, позволившего обосновать и внедрить систему управления качеством ремонта.

6. Тенденции развития прогнозирования в области проектирования, эксплуатации и ремонта автомобилей, прослеживаемые при анализе теоретических работ последнего времени, предполагают дальнейшую дифференциацию причинно-следственных связей, комплексное использование

дедуктивных и индуктивных методов исследования. Это находит отражение, с одной стороны, в применении многофакторных методов анализа, в представлении процессов в виде векторных случайных функций, с другой - в использовании анализа физико-механических явлений при расчетах показателей качества функционирования систем.

7. Оценки качества прогнозирования по существу подразделяются на две группы. К первой относятся оценки верификации, количественно характеризующие точность, достоверность и ошибку прогноза. Они эффективно используются как при анализе адекватности прогнозной модели, так и при постпрогнозном анализе объекта.

Вторую группу составляют частные оценки, характеризующие с формальной стороны периоды упреждения и основания прогноза с позиций затрат времени и средств, не затрагивая непосредственно существа вопроса: объема, качества и полноты используемой при разработке прогноза информации. Такое пассивное оценивание малоэффективно.

Оценка должна, фиксируя достигнутое, давать количественную оценку того, что еще предстоит сделать. Только в этом случае она будет конструктивной и стимулирующей развитие.

8. Будущее методов прогнозирования заключено в грядущих достижениях фундаментальных наук и совершенствовании системного анализа, раскрывающих неизвестные причинно-следственные связи, позволяющих увеличивать знания об объектах и, следовательно, количество используемой при прогнозировании информации, повышая качество прогнозов: обоснованность, точность, достоверность, верифицируемость, доступность и полноту информации, несущественность ошибок и др.

Глубокие знания взаимных связей факторов, обуславливающих

возможные состояния объектов, позволят с заданной точностью синтезировать прогнозные модели, которые дадут возможность уверенно управлять будущим.

1.9. ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ И ОБЩАЯ МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Удаленность от заводов-изготовителей автомобилей, агрегатов, запасных частей и оборудования, отсутствие с ними эффективного прямого и регулярного транспортного сообщения является одной из основных причин организации в обособленном промышленном районе собственной региональной производственно-технической базы. Она призвана поддерживать работоспособность, обеспечивающую заданную техническую готовность автомобильного парка, с использованием ненагруженного резервирования, предусматривающего создание и пополнение оборотного фонда агрегатов.

Большое разнообразие разрушительных процессов обусловлено природно-климатическими факторами и агрессивностью окружающей среды. Они, а также другие многочисленные трудно управляемые, трудно изменяемые, трудно контролируемые, а также случайные, не зависящие от состояния подсистем ремонта и эксплуатации факторы, действующие в процессе формирования свойств ремонтируемых изделий и реализации их в процессе использования, затрудняют выявление причинно-следственных связей между их технологическими и потребительскими показателями.

Принципы эффективного функционирования комплексной системы управления качеством ремонта автомобилей, охватывающие разработку и внедрение прогрессивных технологических процессов, передовой организации труда и высокопроизводительного оборудования на основных и

вспомогательных участках ремонтного предприятия, могут воплощаться только на основе достоверных прогнозов.

Они должны базироваться на совокупности методов, образующих подсистему прогнозирования, позволяющую на сложном прогнозном фоне решать задачи, охватывающие все основные аспекты ремонта (Рис. 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6).

Оптимизация потребности в ремонтах агрегатов и автомобилей на основе достоверных прогнозов позволит существенно снизить эксплуатационные затраты, сберечь трудовые и материальные ресурсы, повысить эффективность использования автомобильного парка.

Цель исследования - теоретическое обоснование и разработка методических основ прогнозирования оптимальной потребности в ремонтах агрегатов и автомобилей для обеспечения работоспособности автомобильного парка северного региона.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд научных и технических задач обоснования методов прогнозирования потребности в ремонтах агрегатов и автомобилей, включающих:

- классификацию методов прогнозирования потребности в ремонтах агрегатов и автомобилей, а также прогнозирования показателей надежности агрегатов после ремонта;

- методику прогнозирования потребности в ремонтах агрегатов и автомобилей;

- методику формирования ремонтных комплектов, включая их номенклатуру и количество;

- классификацию динамических прогнозных моделей;

- классификацию прогнозных моделей, базирующихся на предельных

законах;

-методики прогнозирования внезапных и постепенных отказов агрегатов после ремонта;

-способы вычисления корреляционных моментов и коэффициентов корреляции на основе схемы формирования объекта прогнозирования;

-методику вычисления организационных показателей ремонтных предприятий, цехов и участков, работающих в нестационарном режиме при произвольных законах распределения входящих потоков и потоков обслуживания;

методику экстраполяции реализации случайной функции наработки от величины ошибки механизма;

-способ определения порядка и вида одно и многофакторных прогнозных моделей;

-способ оценки количества и значимости информации, содержащейся в высказываниях экспертов;

-методику оценки точности и достоверности прогнозов показателей надежности агрегатов после ремонта;

-способ количественной оценки значимости и эффективности результатов ранее выполненных исследований, использованных при формировании прогнозных моделей;

-способ оценки экономической эффективности прогнозирования потребности в ремонтах агрегатов;

-результаты экспериментальных исследований, устанавливающих значения корректирующих коэффициентов и оценивающих ошибки прогнозов.

ПРОВЕДЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И НАУЧНО-МЕТОДОДИЧЕКИХ РАЗРАБОТОК

Теоретические исследования и научно-методические разработки

1. Определение фундаментальных закономерностей, лежащих в основе разработки прогнозов.
2. Доказательство теорем о числовых характеристиках, позволяющих вычислять параметры прогнозных моделей при известной схеме формирования объекта.
3. Прогнозирование внезапных отказов на основе информации об уровне проведения технологических процессов.
4. Формирование потока агрегатов, поступающих в ремонт из-за постепенных отказов.
5. Разработка численного метода построения прогнозных моделей.
6. Определение признаков и критериев классификации прогнозных моделей.
7. Экстраполяция реализаций процесса изменения ошибок механизмов.
8. Оценивание количества и значимости информации, содержащейся в высказываниях экспертов.
9. Оценивание количества и значимости предварительной информации, использованной при построении прогнозных моделей.
10. Оценивание точности, достоверности и экономической эффективности прогнозных моделей.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Методические материалы по проведению экспериментальных исследований

1. Организация работы с целью получения информации о пробегах до предельного состояния агрегатов и автомобилей.
2. Требования к процедуре сбора информации, проводимого в реальных условиях, в зависимости от типа прогнозных моделей.
3. Организация, планирование, приспособления и инструмент, используемые при оценке уровня технологии ремонта агрегатов.
4. Способы построения прогнозных моделей, адекватных информации, получаемой в реальных условиях эксплуатации.

Рис. 1.4 Теоретические исследования и научно-методические разработки

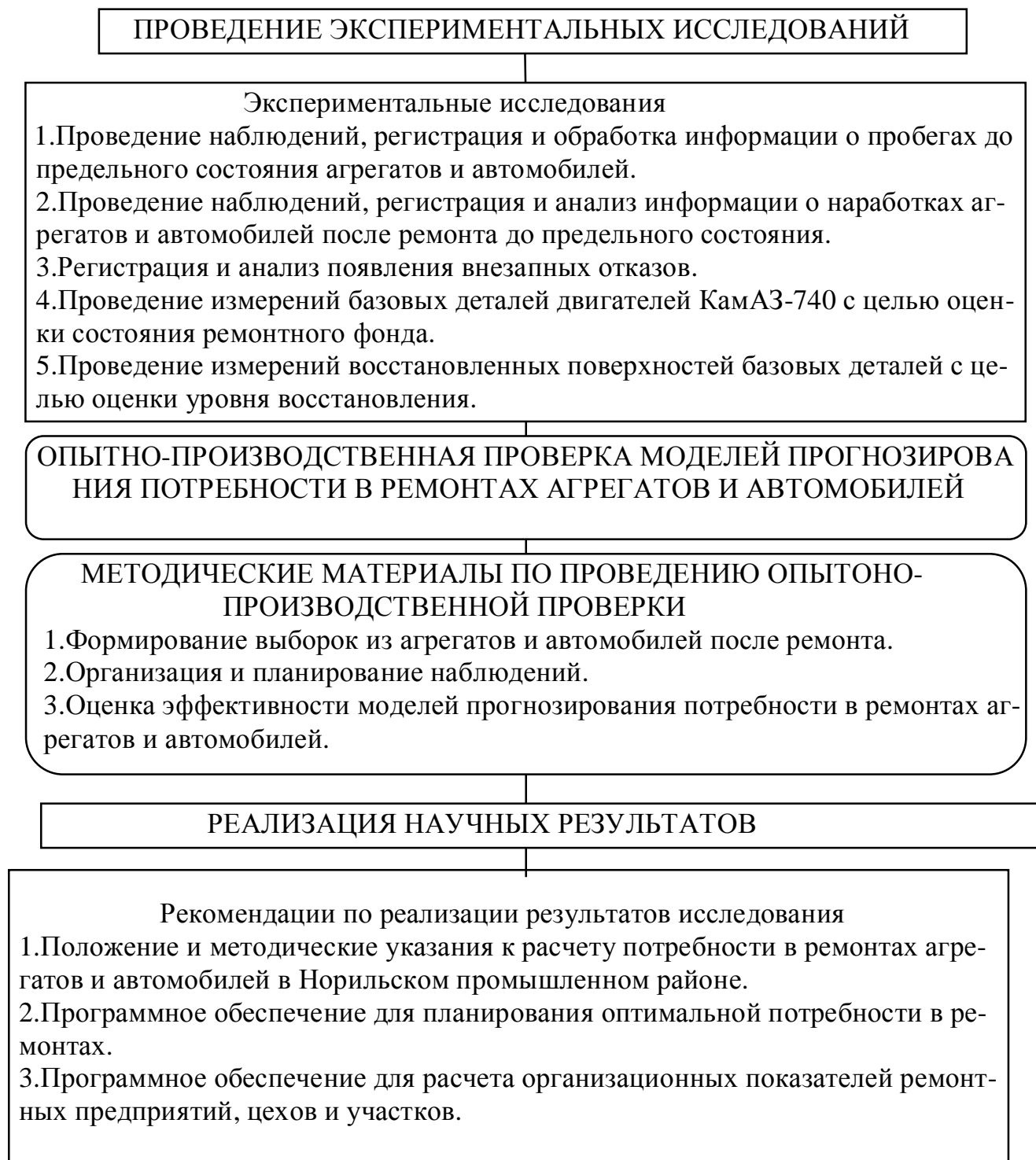


Рис.1.5 Опытнo-производственнoе внедрение результатов исследования

**ОБЪЕКТЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБНОСТИ В РЕМОНТАХ
АГРЕГАТОВ И АВТОМОБИЛЕЙ**



Рис. 1.6 Объекты прогнозных моделей