

На правах рукописи

Алифанов Аскольд Леонидович

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБНОСТИ В  
РЕМОНТАХ АГРЕГАТОВ И АВТОМОБИЛЕЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РА-  
БОТОСПОСОБНОСТИ АВТОМОБИЛЬНОГО ПАРКА  
СЕВЕРНОГО РЕГИОНА

(Специальность 05.22.10 - Эксплуатация автомобильного транспорта)

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

МОСКВА 1999

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Перевозочный процесс в северном регионе - важнейшем поставщике на мировой рынок руды, нефти, газа, цветных и драгоценных металлов - осуществляется 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, достигающую 3,5 м с учётом переноса, полярную ночь, магнитные бури, отрицательное влияние которых на надежность системы «водитель - автомобиль - дорога - среда» усиливается 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 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. Поэтому повышение эффективности использования автомобильного парка невозможно без точных и достоверных прогнозов, формируемых с помощью моделей, адекватных реальным ситуациям. 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 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 прогнозных моделей, 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 комбинат: 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 НК: 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 НК: 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 НК: рассчитано количество и номенклатура технологического оборудования и выполнена 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 и дорожной техники 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 комплекса 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.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### Научно-технические задачи проблемы прогнозирования потребности в ремонтах агрегатов и автомобилей для обеспечения работоспособности автомобильного парка северного региона

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 рабо-



тоспособность. «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 приходится 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». 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, эффективность которой зависит от точных и достоверных прогнозов.

Прогнозирование - вероятностное суждение о будущем - имеет смысл как для совокупности большого числа, так и для одного конкретного события, но, как пишет Е.С.Вентцель, «при практическом применении вероятностных методов исследования всегда необходимо давать себе отчет в том, что 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, является следующая: «В общем, физическое предсказание зависит в основном от предположения, что закономерности, наблюдавшиеся в прошлом, будут сохранены в будущем».

В 30-е годы ремонт автомобилей перестает быть уделом искусных мастеров благодаря научным основам, заложенным профессором В.В.Ефремовым, положившим начало индустриальному ремонтному производству. 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 отремонтированных автомобилей и их эксплуатационных свойств, целенаправленному совершенствованию организации ремонтного производства и технологии восстановления деталей.

Развитие идей профессора В.В.Ефремова получило в исследованиях профессоров Л.В.Дехтеринского и К.Т.Кошкина. Огромный вклад в развитие системы знаний о ремонте и эксплуатации машин внесли труды профессоров В.И.Казарцева, А.И.Селиванова, Г.В.Крамаренко, Е.С.Кузнецова, И.С.Левитского, В.А.Шадричева, Н.Н.Маслова, М.П.Мелкова, А.Ф.Дергачева.

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 оценку внедряемым организационно-техническим мероприятиям.

Только в конце 60-х годов в связи с острой необходимостью, вызванной расширением ремонтного производства во всех отраслях, возникает потребность в разработке методик прогнозирования для использования в инженерных расчетах. 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.

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

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

В исследованиях, проведенных в эксплуатации и ремонте А.М.Шейниным, Л.В.Мирошниковым, Ф.Н.Авдонькиным, В.П.Апсиным,

В.П.Крюковым, А.Г.Липкиндом, П.И.Гринбергом, В.Г.Дажиним, И.Е.Дюминым, А.П.Болдиным, Б.С.Клейнером, А.С.Гальпериным, В.М.Михлиным, А.А.Сельцером, Р.В.Кугелем, А.И.Луйком, В.И.Карагодиным, В.М.Власовым, А.Г.Сергеевым, А.П.Дунаевым и др. отчетливо проглядывается мысль о том, что важнейшая цель технической эксплуатации - обеспечение оптимального уровня работоспособности автомобильного парка, предусматривающего минимизацию затрат и поддержание экологических параметров в пределах норм - может быть достигнута только при сбалансированном развитии производственно-технической базы путем совершенствования ее структуры и организации, реконструкции и перевооружения. Основой оптимизации является определение потребности в ремонтах агрегатов и автомобилей посредством достоверных и точных прогнозов, позволяющих не только выполнять проекты создания и реконструкции баз, цехов, участков, внедрения новых технологий, создания и пополнения оборотного фонда и т.п., но и принимать эффективные решения в часто возникающих условиях риска и неопределенности.

Таким образом, разработка методических основ прогнозирования потребности в ремонтах агрегатов и автомобилей для обеспечения работоспособности автомобильного парка северного региона является научной проблемой, имеющей важное народнохозяйственное значение, вызывающей необходимость решения комплекса научно-технических задач.

#### Теоретические положения, определяющие методы решения задач обеспечения работоспособности автомобилей на основе прогнозирования

Для нормального функционирования большой (поскольку моделирование ее затруднительно вследствие многомерности) и сложной (из-за неполноты информации об элементах) системы, какой является автомобильный транспорт, необходима совокупность методов прогнозирования и средств реализации прогнозов, образующих, в свою очередь, большую и сложную подсистему прогнозирования.

Исследование многообразных явлений и процессов, происходящих в ремонте и эксплуатации и построение адекватных реальным условиям прогнозных моделей требует применения системного анализа, использующего как эмпирические, экспериментальные и строгие формальные математические методы, так и неформальные, эвристические и экспертные.

Подсистема прогнозирования эксплуатационных и технологических показателей качества ремонта агрегатов и автомобилей в соответствии с технологической последовательностью их формирования в подсистемах

обеспечения перевозочного процесса включает цепь взаимосвязанных прогнозов, в которой результаты предшествующего поискового прогноза являются нормативными показателями для разработки поискового прогноза следующей подсистемы. Процесс прогнозирования сводится к последовательным итерациям, суть которых - выявление связей между  $i$ -м и  $i+1$ -м шагами, между причиной и следствием, между  $i$ -м нормативом, установленным по результатам  $i$ -го поиска и формирующими его факторами. На каждом шаге осуществляется верификация с целью проверки обоснованности выводов, а также оценивание их точности и достоверности. Такой подход обеспечивает соответствие разработки прогноза основным принципам прогнозирования: системности, согласованности, вариантности, непрерывности, верифицируемости. Последовательность разработки конкретного системного прогноза представлена в табл.1.

Таблица 1

Содержание процесса разработки системного прогноза

Источники информации	Содержание этапа	Результат выполнения этапа
Экспертная группа	Анализ проблемы, выявление объекта, цели задач, периодов основания и предупреждения	Задание на прогноз
Фактографические данные	Прогнозная ретроспекция, сбор и систематизация информации, установление значимости факторов	Информационный массив
Информативный массив	Обоснование, построение, проверка адекватности прогнозной модели, контрольные эксплуатационные испытания	Прогнозная модель
Результаты испытаний	Выбор и построение моделей верификации, уточнение прогнозной модели	Уточненная прогнозная модель
Результаты предшествующих этапов	Согласование и оформление системного прогноза, разработка нормативной документации	Системный прогноз

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. Важнейшей предпосылкой определения возможных будущих состояний и направлений развития является изучение объекта (процесса, явления) как системы: должны быть уяснены его назначение, происхождение, структура, сложность, способ управления и т.п.

Вероятности, количественно оценивающие возможность состояний получают непосредственным подсчетом, их оценки находят в результате эксперимента, наблюдения или анализа источников фактографической информации, либо эвристическим, либо экспертным путем.

В зависимости от характера и объема априорной информации об объекте для вынесения суждения используется один из методов, основанных на фундаментальных вероятностных закономерностях. На рис.1 приведена классификация методов, нашедших применение в теории и практике эксплуатации и ремонта автомобилей.

Метод устойчивых средних значений базируется на теореме П.Л.Чебышева. Суть, заложенная в ней и имеющая прикладное значение, в том, что среднее арифметическое достаточно большого числа независимых случайных величин (дисперсии которых равномерно ограничены) утрачивает характер случайной величины.

$$\text{Записав теорему в виде} \quad P(|\bar{X} - M(X)| \geq e) \leq D(X) / ne^2$$

и положив, что левая часть равна уровню значимости  $D(X) / ne^2 = 1 - P_f$ , где  $n$  - число наблюдаемых значений величины  $X$ ;  $e$  - допустимое отклонение прогнозируемой величины от среднего значения (ошибка метода прогнозирования);  $P_f$  - доверительная вероятность, можно получить выражение, позволяющее найти необходимое число наблюдений для вынесения суждения в зависимости от заданной ошибки и дисперсии величины  $X$ , характеризующей качество информации, либо определить ошибку прогноза при заданных  $n$  и  $D(X)$ .

$$n \geq D(X) / e^2 (1 - P_f), \quad (1) \quad e = \sqrt{D(X) / n(1 - P_f)}. \quad (2)$$

Метод устойчивых средних значений применяется при прогнозировании потребности в ремонтах агрегатов и автомобилей, в ремонтных комплектах, пробегов автомобилей в стабильных условиях эксплуатации, величин ошибок механизмов в пределах запаса точности при достаточно большом числе циклов при стационарном режиме нагружения и т.п.

Метод устойчивых относительных частот базируется на теореме Я.Бернулли, утверждающей, что при неограниченном увеличении числа опытов частота события сходится по вероятности к его вероятности. Положив в формуле (рис.1), что правая часть неравенства представляет доверительную вероятность,  $P_f$  находят соответствующие доверительные пределы для неизвестной вероятности  $P$  (либо при заданном доверительном интервале определяют необходимое число опытов). Нижний  $P$  и верхний  $\Pi$  доверительные пределы определяются с помощью уравнений.

$$I_p(m, n - m + 1) = 1 - P, \quad (3) \quad I_{\Pi}(m + 1, n - m) = P. \quad (4)$$

Метод используется при прогнозировании внезапных отказов и других процессов, описываемых марковскими цепями, а также в сочетании с методом устойчивых средних значений при прогнозировании пробегов автомобилей в случае постепенных отказов при фиксированных изменениях режимов нагружения или эксплуатационных условий; количества годных, требующих восстановления и утильных деталей и т.п.

Метод устойчивых законов распределения базируется на предельных теоремах теории вероятностей, в частности, на центральной предельной теореме, утверждающей, что закон распределения суммы имеющих один и тот же закон распределения независимых случайных величин при неограниченном увеличении их числа неограниченно приближается к нормальному, а так же теореме А.Я.Хинчина, утверждающей, что суммарный поток при дополнительном ограничении арифметического характера, гарантирующем ординарность суммарного потока, оказывается близким к простейшему (рис.1). И в первом и во втором случае достаточно 4-5 слагаемых, чтобы закон распределения суммы с высокой доверительной вероятностью был близок к предельному. Благодаря известному уравнению Эйлера предельные законы распределения используются в условиях неопределенности, когда из всех свойств объекта известен только интервал его возможных значений. Часто применяемые в теории и практике нормальный и экспоненциальный законы являются устойчивыми и безгранично делимыми, позволяющими осуществлять каноническое разложение случайных процессов, снижая апостериорную дисперсию прогноза.

Метод устойчивых законов распределения используется при решении многочисленных задач как в эксплуатации, так и в ремонте: прогнозировании пробегов автомобилей после ремонта до предельного состояния, организации труда на производственных участках, прогнозировании внезапных и постепенных отказов и т.п.

Метод мгновенных законов распределения базируется на законах распределения функций случайных аргументов. Существует много способов, позволяющих находить законы распределения функций случайных величин для разнообразных вариантов их связей. Знание этих связей (исследованиями последних лет накоплена обширная информация в виде одно и многофакторных корреляционных и регрессионных зависимостей) предопределяет успешный поиск законов распределения прогнозируемых объектов. Если функции плотностей вероятностей составляющих неизвестны, то их выбирают, исходя из принципа максимальной энтропии. При нестабильности составляющих, вызванной дрейфом, наличием доминирующих факторов и др., а также при случайном характере связей между ними и объектом прогнозирования мгновенный закон распределения строят, используя правила, приведенные в четвертом разделе.

Классификация методов прогнозирования объектов автомобильного транспорта, базирующаяся на объективных закономерностях и использующая количественные критерии, является последовательной. Она охватывает все объекты и имеет единый признак, исключающий пересечение классов.

При выборе метода прогнозирования (рис.2) для конкретного объекта последовательно оценивают имеющуюся информацию:

-если она удовлетворяет условиям (1) или (2), то останавливаются на методе устойчивых средних значений;

-если нет, то информацию оценивают с позиций неравенства (рис.1) и уравнений (3), (4), вводя при необходимости дополнительные данные. Если она им удовлетворяет, то используют метод устойчивых относительных частот (в сочетании с методом устойчивых средних);

-если нет, то анализируют структуру объекта, проверяя выполнение условий предельных теорем, выявляя и оценивая значимость и однородность числовых характеристик составляющих или оценивая соответствие характеристик объекта одному из гипотетических распределений посредством критерия согласия на предмет использования метода устойчивых законов распределения случайных величин, который при разработке прогноза предполагает применение для решения отдельных задач методы устойчивых средних и относительных частот;

-если этот метод неприменим, то используют метод мгновенных распределений в сочетании с предыдущими методами.

Неизменность физических процессов, постоянно воспроизводимых при эксплуатации автомобилей, и устойчивость статистических характеристик являются основой для разработки достоверных прогнозов, поскольку действие фундаментальных законов не зависит от субъекта прогнозирования, потребителя прогноза и времени.

#### Прогнозирование потребности в ремонтах агрегатов и автомобилей на основе устойчивости средних значений и относительных частот

Нормативные значения ресурса автомобилей, установленные на основе информации, полученной в результате испытаний и наблюдений при работе в определенном эксплуатационном режиме, при планировании деятельности ремонтных служб корректируются с помощью коэффициентов, учитывающих отличие реальных условий эксплуатации от эталонных. При однородных эксплуатационных условиях такой способ эффективен и прост, это подтверждает его повсеместное использование в практике работы автотранспортных предприятий.

Однако в случаях, когда процесс исчерпания ресурса каждого автомобиля или их совокупности состоит из отдельных частей пробега в существ-

венно отличающихся между собой местных условиях, что имеет место в северном регионе, прогнозирование наработки до предельного состояния усложняется, при этом полученный результат представляет собой точечный прогноз некоторого среднего значения ресурса, не раскрывая общей картины возможных будущих состояний парка автомобилей и не давая возможность оценить ошибку найденного значения. Использование в качестве характеристики ресурса предельных распределений устраняет этот недостаток, но дает наибольшую из возможных ошибку прогноза, так как их энтропия на соответствующих интервалах варьирования максимальна.

Эффективность корректирующих коэффициентов Е.С.Кузнецова в сочетании с применением вероятностных распределений реализуется с помощью численных методов построения прогнозных моделей. Большое разнообразие и широкая вариация ускоряющих накопление повреждений факторов, имеющих место в отдаленных осваиваемых территориях, предполагает при прогнозировании пробега автомобилей (агрегатов) до предельного состояния, определяющего потребность в ремонтах, использование для некоторых коэффициентов распределений вероятностей как исчерпывающих характеристик возможных будущих состояний исследуемого объекта.

К основным факторам, влияющим на работоспособность, относятся тип и качество дорожного покрытия, рельеф местности, условия движения, характеризующиеся пятью категориями эксплуатации, которым соответствуют значения коэффициента  $K_1$  от 1,0 для первой до 0,6 для пятой. Модификация автомобиля и варианты организации работы подвижного состава учитываются коэффициентом  $K_2$ . Влияние природно-климатических и сезонных условий, а также агрессивность окружающей среды обуславливает величину коэффициента  $K_3$ . Возрастная структура парка учитывается коэффициентом  $K_4$ . Уровень проведения технических обслуживаний и текущих ремонтов, зависящий от уровня концентрации подвижного состава определяется коэффициентом  $K_5$ , существенностью влияния квалификации и надежности водителей, а также укомплектованности автомобилей экипажами обусловлено использование коэффициентов  $K_6$  и  $K_7$ .

В результате исследований, проведенных в автомобильных парках Норильского промышленного района, имеющих автомобили КраЗ-6510, экспериментально получены оценки вероятностей для рядов распределений коэффициентов  $K_4$ ,  $K_5$ ,  $K_6$ ,  $K_7$ , а также их величины. Оценки вероятностей для коэффициентов  $K_1$  и  $K_3$  (табл.2) получены при анализе путевых листов и данных метеослужбы.



Таблица 2

## Распределения вероятностей корректирующих коэффициентов

$K_1$	$P_1$	$K_3$	$P_3$	$K_4$	$P_4$	$K_5$	$P_5$	$K_6$	$P_6$	$K_7$	$P_7$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,6	0,1	0,7	0,75	0,8	0,3	0,8	0,1	0,7	0,1	0,6	0,9
0,7	0,4	1,0	0,25	0,9	0,4	0,9	0,8	0,85	0,3	1,0	0,1
0,8	0,5	-	-	1,0	0,3	1,0	0,1	1,0	0,6	-	-
$m^*_1=0,74;$ $D^*_1=0,0044$		$m^*_3=0,775;$ $D^*_3=0,0169$		$m^*_4=0,9;$ $D^*_4=0,006$		$m^*_5=0,9;$ $D^*_5=0,002$		$m^*_6=0,925;$ $D^*_6=0,0101$		$m^*_7=0,64;$ $D^*_7=0,015$	

Из первых двух ее столбцов (распределение  $P(K_1)$ ), следует, что 10% пробега автомобилей КраЗ-6510 приходится на дорожные условия, соответствующие пятой категории эксплуатации, 40% - четвертой и 50% - третьей. Оценки вероятностей  $P_1$  достаточно устойчивы, но могут быть скорректированы в случае изменения плана перевозок либо при снижении уровня качества ремонта и содержания дорог, следствием которого является износ и разрушение земляного полотна и покрытия. Устойчивость оценок вероятностей распределения  $P(K_3)$  обусловлена замкнутостью региона и неизменностью жесткости климата с присущими ему низкими температурами, сильными ветрами, снежными заносами, туманами и др., в течение трех четвертей года, что позволяет при расчетах использовать оценку математического ожидания  $m^*_3$  коэффициента  $K_3$  как величину практически постоянную.

Стабильность возрастной структуры парка обеспечивается сбалансированностью пополнения и списания автомобилей, она позволяет достоверно прогнозировать вероятности ряда распределения  $P(K_4)$  на предстоящий плановый период, внося необходимые коррективы. Значения  $K_4 = 1,0$  соответствует новым автомобилям,  $K_4 = 0,9$  - автомобилям и агрегатам после первого,  $K_4 = 0,8$  - после второго и последующих капитальных ремонтов.

Коэффициент  $K_5$  варьирует в зависимости от качества технических обслуживаний и текущих ремонтов, определяемого уровнем механизации и использованием средств технического диагностирования. Значение  $K_5 = 0,8$  соответствует автомобилям и агрегатам, работающим и проходящим ТО и ТР в полевых условиях, величина  $K_5 = 0,9$  имеет место при проведении работ на производственных участках, оснащенных механизированным оборудованием, приборами и др.,  $K_5 = 1,0$  - при своевременном проведении технических обслуживаний и текущих ремонтов в специализированных зонах по результатам технического диагностирования. Не изменяющийся из-за больших затрат на капитальное строительство и приобретение дорогостоящего оборудования уровень качества обслуживания позволяет при вычислении ресурса для

совокупности автомобилей использовать оценку математического ожидания  $m^*_5$  коэффициента  $K_5$ .

Квалификация как степень подготовленности к эффективному выполнению обязанностей находит отражение в вероятности безотказной работы водителя, количественно оцененной в первом приближении для водителей автомобильных парков Норильского промышленного района В.Н.Владимировым по формуле

$$P^*(t) = 1 - (d / d_c),$$

где  $d$  - число смен, пропущенных водителем по причине болезней, аварий, прогулов, а также число смен с невыполненным планом перевозок;  $d_c$  - число смен работы водителя в плановом периоде.

Коэффициент  $K_7$  характеризует вариацию годового пробега автомобилей в зависимости от укомплектованности экипажей, простоев в незапланированных и аварийных ремонтах и др. При односменной работе  $K_7 = 0,6$ , при двухсменной и трехсменной, соответственно, 1,0 и 1,4.

Планируемое число ремонтов автомобилей в течение года

$$Q = L_{HG} N \prod_{i=1}^n K_i / L_H \prod_{j=1}^m K_j, \quad (5)$$

где  $N$  - число автомобилей рассматриваемой модели в парке, шт;  $L_{HG}$  - нормативный годовой пробег автомобиля, тыс.км;  $L_H$  - нормативный пробег автомобиля до предельного состояния, тыс.км;  $n, m$  - соответственно, число поправочных коэффициентов, влияющих на величину годового пробега и пробега до предельного состояния.

Выполняя операции в соответствии с формулой (5), получают ряд распределения потребности в ремонтах автомобилей данной модели как исчерпывающую характеристику прогноза.

Оценки параметров распределения  $P(Q)$ : математического ожидания  $m^*(Q) = 179$  ед., дисперсии  $D^*(Q) = 2169$  кв.ед.

Непрекращающееся многократное воспроизведение события: исчерпание ресурса автомобилями и их ремонт - в течение длительного времени при достаточно большом сбалансированном парке, обслуживающим регион, в количественном отношении может быть охарактеризовано одним практически постоянным числом - оценкой математического ожидания числа машин, достигших предельного состояния в течение года. Возможное отклонение полученной оценки от неизвестного истинного значения определяется неравенством (2). В данном случае при доверительной вероятности  $P_f = 0,8$

$$e \leq \sqrt{2169 / 179(1 - 0,8)}, \quad e \leq 8.$$

Таблица 3

Возможные значения потребности в ремонтах автомобилей КрАЗ-6510 и соответствующие им вероятности при  $N = 500$

Q, ед.	P	Q, ед.	P	Q, ед.	P	Q, ед.	P
125	0,0810	187	0,0432	256	0,0108	332	0,0020
139	0,1080	197	0,0081	261	0,0090	341	0,0012
143	0,0648	199	0,0180	265	0,0036	349	0,0018
147	0,0405	205	0,0108	266	0,0096	351	0,0036
157	0,0810	209	0,0252	273	0,0060	365	0,0012
159	0,0864	211	0,0324	279	0,0018	374	0,0015
164	0,0540	219	0,0108	281	0,0036	379	0,0016
167	0,0162	224	0,0135	299	0,0114	398	0,0003
169	0,0324	228	0,0144	308	0,0045	410	0,0009
179	0,0783	232	0,0120	310	0,0024	427	0,0012
185	0,0405	239	0,0099	312	0,0048	442	0,0004
186	0,0216	246	0,0126	328	0,0009	498	0,0003

Следовательно, потребность в ремонтах, формирующая программу ремонтного предприятия,  $Q = 179 \pm 8$  ед., относительная ошибка составляет менее 5%.

Ошибки прогнозов, разрабатываемых для парков автомобилей на основе устойчивости средних значений и относительных частот, по данным наблюдений последних лет не выходят за пределы 15...20%. Увеличение ошибки происходит из-за не учитываемых аварийных износов и повреждений по причине бездорожья и отклонений величин годовых пробегов, вызываемых производственной необходимостью.

Одной из задач по поддержанию работоспособности автомобильного парка является определение годовой потребности в ремонтах агрегатов для пополнения оборотного фонда, расходуемого при ремонтах автомобилей. Проведенные исследования позволили получить оценки вероятностей для рядов распределения корректирующих коэффициентов и числовых характеристик  $m^*(L_i)$  и  $D^*(L_i)$  пробега до предельного состояния агрегатов автомобиля БелАЗ-75485 при своевременном проведении в полном объеме ТО и Р, укомплектованности экипажей квалифицированными водителями и постоянном контроле за соответствием установленным требованиям фактического состояния дорожных условий и условий перевозок (табл.4).

Таблица 4

Оценки числовых характеристик пробегов агрегатов БелАЗ-75485 до предельного состояния (в числителе для новых, в знаменателе - для агрегатов уже проходивших ремонт ранее)

Наименование агрегата	$m^*(L_i)$ , тыс.км	$D^*(L_i)$ , (тыс.км) <sup>2</sup>	Объем выборки
Двигатель	95/78	310/199	84/136
Гидромеханическая передача	63/54	154/306	84/136
Передний мост	77/65	117/122	84/136
Задний мост	83/74	147/155	84/136

Оценки математических ожиданий  $m^*(L_i)$ , приведенные в табл.4, приняты в качестве нормативных показателей, поскольку они найдены в однородных контролируемых условиях, соответствующих рекомендациям завода-изготовителя. Возможное отклонение оценки от неизвестного математического ожидания, найденное с использованием неравенства (2) при  $P_f = 0,8$  не превышает 5%. Применив выше изложенный способ и формулу (5), находят ряд распределения потребности в ремонтах агрегатов.

Интенсивное использование автомобилей на севере предполагает поддержание работоспособности на основе ненагруженного резервирования, предусматривающего замену отказавших элементов на заранее подготовленные ремонтные комплекты. Применение в качестве ремонтных комплектов отремонтированных или новых узлов и агрегатов обеспечивает более высокий уровень восстановления работоспособности автомобиля по сравнению с поддетальной заменой, уменьшая продолжительность простоя в текущих и неплановых ремонтах, увеличивая коэффициент технической готовности парка, сводя к минимуму риск возникновения отказа на линии, связанный со здоровьем людей, работающих в условиях жесткого климата.

При формировании номенклатуры узлов и агрегатов, входящих в ремонтный комплект, и расчете числа комплектов предполагается, что замены осуществляются при достижении составными частями автомобиля предельного состояния в результате постепенных отказов, вызванных накоплением повреждений. Для случая внезапных отказов в зависимости от их интенсивности замена вышедшего из строя узла осуществляется либо с использованием рассматриваемых ремонтных комплектов с немедленным восполнением дефицита, либо рассчитывается потребность в дополнительных резервах, предназначенных для ликвидации последствий внезапных отказов, на основе этого же подхода. Наблюдая и регистрируя величины  $L_2$  - годового пробега автомобиля и  $L_i$  - пробега до предельного состояния  $i$  - го узла или агрегата, вычисляют оценки вероятностей для законов распределения  $P(L_2)$ ,  $P(L_i)$ ,  $P(L_2, L_i)$  и их числовые характеристики  $m^*(L_i)$ ,  $D^*(L_i)$ . Затем проверяют однород-

ность  $m^*(L_i)$  для каждого агрегата и входящих в него узлов, не принимая в расчет быстро изнашивающиеся, легкозаменяемые и легко восстанавливаемые сборочные единицы и детали. Составные части автомобиля, имеющие с агрегатом в сборе однородные или меньшие значения пробега до предельного состояния входят в один из комплектов. Агрегаты в сборе и узлы или отдельные узлы, имеющие наибольший пробег до предельного состояния, образуют ремонтный комплект. Из оставшихся частей автомобиля формируется второй комплект с меньшими, но однородными значениями  $m^*(L_i)$ . Не вошедшие в него агрегаты и узлы образуют третий и т.д. ремонтные комплекты. Количество  $j$ -х комплектов, необходимое для поддержания работоспособности парка из  $N$  автомобилей в течение года

$$Q_j = N L_c / L_i, \quad (6)$$

где  $N$  - число автомобилей данной модели в парке;  $L_c$  - годовой пробег автомобиля, тыс.км;  $L_i$  - пробег до предельного состояния агрегата или узла, входящего в ремонтный комплект, у которого трудоемкость восстановления и замены по сравнению с остальными составляющими  $j$  - го комплекта минимальна, тыс.км.

Поскольку формула (6) является нелинейной функцией двух случайных аргументов и простые способы линеаризации для нее неприемлемы из-за большой погрешности при нахождении дисперсии, гораздо эффективнее найти оценку для закона распределения  $P(Q_i)$ , оценку его математического ожидания  $m^*(Q_i)$  и, приняв ее как годовую потребность в резервных ремонтных комплектах, найти по формуле (5) величину вероятной ошибки прогноза.

Процедура определения номенклатуры ремонтных комплектов для автомобилей семейства КамАЗ, выполненная с помощью  $G$  - критерия Кокрена для проверки однородности оценок дисперсий и  $t$  - критерия Стьюдента для проверки однородности оценок математических ожиданий пробега агрегатов и узлов при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ , позволила выявить следующее:

- n** в первый ремонтный комплект входит силовой агрегат (двигатель в сборе со сцеплением, делителем и коробкой передач), рулевое управление в сборе, передний мост, средний мост с межосевым дифференциалом и задний мост;
- n** второй ремонтный комплект составляют узлы механизма подъема платформы, задняя подвеска, карданные валы;
- n** в третий ремонтный комплект входит водяной насос с гидромуфтой, генератор, реле-регулятор, стартер, привод управления сцеплением, привод управления делителем передач, передние рессоры, амортизаторы, узлы пневмопривода тормозной системы.

Средние значения пробега до замен первого, второго и третьего комплектов составляют:  $m^*(L_{1k}) = 203$  тыс.км,  $m^*(L_{2k}) = 122$  тыс.км,  $m^*(L_{3k}) = 94$  тыс.км.

Потребность в ремонтных комплектах определяется по выше приведенному способу, в частности, для первого она составляет  $Q_1 = 68 \pm 4$  компл. при  $N = 200$  автомобилей в парке.

Зная потребность, оптимизируют программу ремонта, исходя из минимума потерь от недогрузки производственных мощностей и простоя автомобилей в ожидании ремонта. Для расчета потока агрегатов, поступающих в ремонт, используют биномиальное распределение.

Условия, определяющие устойчивость средних значений, выполняются во многих случаях и могут быть использованы для прогнозирования износа деталей, в частности, кузовов автомобилей-самосвалов, работающих на перевозке песка, угля, измельченной руды, накладок скользящих коренных листов основных и дополнительных рессор и т.п., подверженных абразивному износу.

Интенсивность изнашивания при микрорезании описывается формулой, предложенной И.В.Крагельским:  $I_h = q_A \cdot \operatorname{tg} q / 2(n+1) \cdot HB$ , где  $q_A$  - номинальное давление на поверхности контакта (отношение нагрузки к геометрической площади контакта);  $\operatorname{tg} q$  - тангенс угла наклона граней абразива;  $n$  - константа геометрии истирающей поверхности;  $HB$  - твердость изнашиваемого материала. Хотя  $q_A$  формируется случайными величинами, при многократном воспроизведении контакта их средние значения исчерпывающе характеризуют среднюю величину  $q^*_A$ . Угол наклона граней абразива случайная, широко варьирующая величина, однако при большой геометрической площади контакта, малом размере инденторов и большом числе одновременно вступающих в многократно повторяющийся контакт распределение  $P(q)$  имеет устойчивые относительные частоты. В условиях карьера, например, для получения достоверных данных достаточно взять небольшие пробы песка. Длина, глубина и количество царапин в течение смены при многократном воспроизведении рабочих операций могут быть охарактеризованы средними значениями. Число операций, варьирующее в течение смены, за несколько смен также может быть представлено средней величиной. Этим объясняется, в частности, тот факт, что опытные механики и водители в подобных случаях дают точные прогнозы на интуитивном уровне.

На интенсивность изнашивания деталей и изменение ошибок механизмов существенно влияют квалификация и психофизиологическое состояние водителей, реакция которых на социальные, бытовые и производственные события неоднозначна. Изменение интенсивности изнашивания деталей механизмов, управляемых посредством ручных систем прямого действия, зависит только от конкретной ситуации в данный момент времени. Во многих случаях это - последовательность независимых событий, образующих однородный марковский процесс, так как вероятность изменения  $I_h$  в будущем

зависит только от величины износа в настоящий момент времени и не зависит от интенсивности, с которой деталь изнашивалась ранее.

Оценки вероятностей  $P_i$  вектора начальных состояний и вероятности  $P_{ij}$  матрицы переходов могут быть получены при обработке наблюдений объекта в предшествующий период. Это возможно потому, что факторы обуславливающие стационарность вероятностей  $P_{ij}$  и, следовательно, всей цепи, практически не изменяются в течение длительного времени. Состояние дорог, карьеров, забоев, строительных площадок, природно-климатические условия и определяющие комфорт водителя факторы - все это практически остается на одном и том же уровне в течение нескольких лет, а многократное повторение ситуаций в случайные моменты времени за межремонтный период обеспечивают устойчивость и высокую достоверную вероятность для величин  $P_i$ ,  $P_{ij}$ . Результаты текущих наблюдений и замеров величин износа используются для оценивания однородности априорных и апостериорных вероятностей состояний объекта и их корректировки в случае необходимости.

Известно, что если  $a = (P_1, P_2, \dots, P_m)$  - вектор начальных состояний, то безусловные вероятности состояний системы после  $n - 1$  шагов равны элементам вектора  $a_n = ap^{n-1}$ .

Стационарное распределение регулярной (непериодической) марковской цепи отыскивается решением уравнения

$$Pb = b,$$

где  $b$  - вектор стационарного распределения;  $P$  - регулярная матрица перехода размерности  $m \times m$ .

Используя эти формулы, получают распределения, характеризующие состояния деталей, сопряжений, узлов, агрегатов, автомобилей в будущие моменты времени с целью планирования расхода запасных частей, восстановления оборотных агрегатов и др., а также моделируют реализации случайного процесса изнашивания деталей и изменения ошибок механизмов.

На свойстве устойчивости числовых характеристик процессов, имеющих место в эксплуатации и ремонте автомобилей, базируется классификация динамических прогнозных моделей, используемая при интерпретации результатов экспериментальных исследований (рис.3).

Если во всех экспериментальных точках выполняется условие теоремы П.Л.Чебышева и при этом  $e$  меньше погрешности измерительного прибора  $e_{np}$ , то считают, что имеет место функциональная зависимость. Если  $e \geq e_{np}$ , но выполняется условие второго столбца (рис.3), при заданном уровне достоверной вероятности, то имеет место одно или многофакторная регрессионная зависимость, важнейшими характеристиками которых являются оценки дисперсий воспроизводимости и адекватности  $S_e^2(y)$ ,  $S_{a\#}^2(y)$ . Марковским процессам соответствует устойчивость относительных частот. Если

оценка дисперсии воспроизводимости велика, и условия теоремы П.Л.Чебышева выполняются только средних значений в точках эксперимента, то имеет место случайная функция. Если ни одно из условий не выполняется, но коэффициент корреляции не равен нулю, то речь может идти только о тенденции.

Прогнозирование эксплуатационных, технологических и организационных показателей качества ремонта автомобилей и их составных частей на основе предельных законов и законов распределения функций случайных аргументов

Относительная стабильность и массовость производства ремонта, обусловленная неизменностью обслуживаемого региона, конструкций автомобилей и технологии восстановления, позволяет широко использовать предельные законы во всех аспектах функционирования автотранспортных предприятий. Применяются как статические, так и динамические модели, отображающие процессы, происходящие в системе со временем. По мере совершенствования технологии в прогнозные модели вносятся коррективы, касающиеся только числовых характеристик, вычисляемых по малым выборкам, поскольку сами законы остаются неизменными. Если к тому же распределения безгранично делимы и устойчивы, то сложнейшие расчеты при разработке прогнозов существенно упрощаются, ибо заранее известно, что они, по крайней мере, при линейных преобразованиях не изменяются.

На рис.4 приведена классификация прогнозных моделей, базирующаяся на предельных законах распределения, соответствие экспериментальных данных которым обусловлено схемой формирования объекта прогнозирования и проверкой по критерию  $c^2$ . Предпосылками проведения регрессионного анализа является независимость факторов и нормальное распределение отклика в точках эксперимента, множественные корреляционные уравнения допускают зависимость факторов.

Преимущества, которыми обладают предельные законы, распространяются на случайные функции, поскольку при фиксированных значениях аргумента случайная функция характеризуется распределением вероятностей объекта прогнозирования. Для уменьшения апостериорной дисперсии прогноза при безгранично делимых распределениях в сечениях функции может быть осуществлено каноническое разложение при наличии необходимой информации.

Предельные, устойчивые и безгранично делимые распределения упрощают разработку прогнозных моделей для многомерных систем, так как для получения функций условных математических ожиданий и дисперсий используют только числовые характеристики входящих в систему случайных



величин. При этом часть характеристик может быть найдена на основе анализа схемы формирования объекта прогнозирования без постановки трудоемких и дорогостоящих экспериментов.

Отказ в результате скачкообразного изменения параметра, определяющего работоспособность автомобиля, квалифицируется как внезапный, поскольку происходит вследствие излома, деформации, повреждения или интенсивного износа деталей в течение весьма короткого промежутка времени и, как правило, без предвестника в виде монотонно возрастающего шума, стука, температуры, вибрации или снижения давления, мощности и т.п.

Источниками отказов являются несовершенство технологии ремонта, низкий уровень проведения ТО и ТР и тяжелый режим работы. Они формируют случайные потоки изделий, отказавших внезапно. Суммарный поток имеет интенсивность

$$I = \sum_{i=1}^7 I_i, \quad (7)$$

где  $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7$  – интенсивности потоков отказов, вызванных соответственно пропуском дефектных, полученных с заводоизготовителей, а также повторно используемых деталей на сборку, отклонениями от технологии при восстановлении, малым запасом точности замыкающих звеньев, грубыми просчетами при сборке, неудовлетворительным проведением ТО и ТР, работой в экстремальных условиях.

Поскольку составляющие независимы, суммарный поток всегда будет пуассоновским с экспоненциальным распределением времени между отказами, так как выполняются условия теоремы А.Я.Хинчина.

Параметры  $I_1, I_2, I_3$  зависят от эффективности входного и приемочного контроля, основанных на статистических методах и поэтому предусматривающих вероятность ошибки, хотя и в пределах, не превышающих 0,05. Оптимальная вероятность брака, формирующего параметр  $I_4$ , закладывается при расчете размерных цепей, что позволяет расширить поля допусков сопрягаемых поверхностей деталей при небольшом, до 5%, риске получить выходящее за пределы допуска замыкающее звено. Параметр  $I_5$  может быть оценен путем обработки наблюдений за процессом сборки.

Зная принятые на всех этапах ремонта возможные отклонения от технологии, рассчитывают вероятное число дефектных изделий, которые и предопределяют поток внезапных отказов.

Среднее число отказов в течение планового периода

$$I_{15} = R_{15} N / a,$$

где  $P_{15}$  - вероятность выпуска изделий с дефектами, вызывающими внезапный отказ;  $N$  - годовая программа выпуска изделий;  $a$  - число плановых периодов в году.

Вероятности наступления отказов в течение планового периода

$$P_m = (I_{15}\Delta t)^m e^{-I_{15}\Delta t} / m!,$$

где  $I_{15}$  - интенсивность потока отказов из-за нарушений технологии ремонта, представляющая собой сумму первых пяти слагаемых в формуле (7);  $\Delta t$  - продолжительность планового периода;  $m$  - число отказов.

Дискретные наблюдения за изменением параметра у множества изделий позволяют охарактеризовать случайную функцию последовательностью  $n$  распределений. При нормальном распределении параметра и линейной связи его с наработкой обе величины (параметр и наработка) имеют предельное нормальное распределение в сечениях случайной функции, обладающее свойствами устойчивости и безграничной делимости. Прогнозирование наработки до отказа осуществляется с использованием формулы

$$t^{ps} = \frac{K(q,t)}{D_0} (q_{10} - m_0) + m_t + V_t, \quad (8)$$

где  $t^{ps}$  - прогнозируемая наработка, тыс.км;  $\frac{K(q,t)}{D_0} (q_{10} - m_0) + m_t$  - условное математическое ожидание наработки, тыс.км;  $K(q,t)$  - корреляционный момент между начальной ошибкой механизма и наработкой до отказа, мин.тыс.км;  $D_0$  - дисперсия параметра при  $t = 0$ ;  $q_{10}$  - начальная ошибка механизма;  $m_0$  - математическое ожидание начальной ошибки механизма;  $m_t$  - математическое ожидание наработки, тыс.км;  $V_t$  - случайная величина, учитывающая рассеивание наработки, с условной дисперсией

$$D_V^{ps} = D_t - [K(q,t)]^2 / D_0, \quad (9)$$

где  $D_t$  - дисперсия наработки изделия до первого отказа, (тыс.км)<sup>2</sup>.

Для коробок передач автомобиля ЗИЛ-130 во многих случаях изношенный отказ наступает в результате самовыключения передачи, в частности, для автобусов - четвертой. Самовыключение наступает при выходе за пределы допуска замыкающих звеньев размерных цепей:

- n** угла поворота вторичного вала при фиксированном положении первичного, параметр  $Q_1$ ;
- n** осевых зазоров между элементами на вторичном валу КП, параметр  $Q_2$ ;
- n** размерных цепей, определяющих усилие переключения передачи, параметр  $Q_3$ ;

$n$  величины перекоса первичного вала относительно оси коленчатого вала двигателя, параметр  $Q_4$ .

В качестве диагностического параметра наиболее подходящим является «угол поворота», так как он всегда распределен нормально ( в его размерную цепь входят более 5 звеньев), включает ошибки деталей, замена которых при достижении предельного состояния требует полной разборки КП, около 80% отказов по причине самовыключения четвертой передачи происходит из-за накапливающихся повреждений в этой размерной цепи. Этот параметр несет максимальную информацию о состоянии элементов, входящих в состав механизма, его измерение удобно и доступно. Дисперсия прогноза может быть уменьшена путем канонического разложения случайной функции  $t(q_1)$ , предложенного В.С. Пугачевым, при наличии дополнительной информации. Здесь в качестве координатных функций могут быть приняты регрессионные уравнения, описывающие зависимости наработок от условий движения. Разлагая корреляционный момент, дисперсию и математическое ожидание в соответствии с весовыми коэффициентами (значениями координатных функций при предельных наработках) и подставляя результаты в формулы (8) и (9), получают более точные прогнозные оценки пробега до первого отказа после ремонта за счет дополнительной информации об объекте. Минимальный пробег при уровне значимости  $\alpha$  составит

$$t^{ps} = m_t^{ps} - x_a \sqrt{D_V^{ps}},$$

где  $x_a$  - квантиль нормального распределения.

Прогнозные модели в виде множественных корреляционных уравнений предполагают использование корреляционных связей между факторами и не требуют их строгой фиксации, их можно рассматривать как математические ожидания многомерных случайных функций и применять для прогнозирования нестационарных процессов, которыми, например, являются изменения ошибок механизмов автомобиля в зависимости от пробега. Сложные расчеты при разработке и уточнении (в случае появления новой информации об объекте) моделей существенно упрощаются при использовании предлагаемых теорем о числовых характеристиках, две из них представлены ниже.

*1. Корреляционный момент величин  $U$  и  $V$ , образованных по схеме  $U = Y+X$ ,  $V = Z+X$  равен дисперсии их общей составляющей  $X$ , если  $X, Y, Z$  независимы.*

*Доказательство.*

По определению корреляционного момента

$$K(U, V) = M[(U - m_U)(V - m_V)] = M[(X + Y - m_x - m_y)(Z + X - m_z - m_x)],$$

произведя умножение и учитывая, что  $M(X^2) = D(X) + m_x^2$ ,

$M(ZX) = K(ZX) + m_x m_z$ ,  $M(XY) = K(XY) + m_x m_y$ ,  $M(ZY) = K(ZY) + m_z m_y$ , и принимая во внимание, что корреляционный момент независимых случайных величин равен нулю, получают

$$K(U, V) = D(X).$$

2. Если случайные величины образованы по схеме  $W = U^* + Z^*$ , где  $U^* = ax + b$ ,  $Z^* = cx + d$  - уравнения регрессии с дисперсиями неадекватности

$$S_{a\text{ф}}^2(U), S_{a\text{ф}}^2(Z), \text{ то } K(W, U) = (a^2 + ac)D(X) + S_{a\text{ф}}^2.$$

*Доказательство.*

Приняв  $U^* = ax + b + V_1$ ,  $Z^* = cx + d + V_2$ , имеем

$$K(W, U) = M[(ax + b + V_1 + cx + d + V_2 - am_x - b - cm_x - d)(ax + b + V_1 - am_x - b)],$$

поскольку  $m_{V_1} = m_{V_2} = 0$ ,  $M(V_1 V_2) = K(V_1 V_2) = 0$ , ибо  $V_1$  и  $V_2$  - независимые случайные величины с математическими ожиданиями, равными нулю и

дисперсиями  $D(V_1) = S_{a\text{ф}}^2(U)$ ,  $D(V_2) = S_{a\text{ф}}^2(Z)$ , получим

$$K(W, U) = M(a^2 x^2 - a^2 m_x^2 + V_1^2 + acx^2 - a^2 x m_x + a^2 m_x^2 - 2acx m_x + ac m_x^2),$$

$$K(W, U) = (a^2 + ac)D(X) + D(V_1).$$

Предложенные соотношения позволяют не только вводить в состав прогнозных моделей числовые характеристики, получаемые расчетным путем на основе схем формирования параметров без постановки дорогостоящих экспериментов, но и максимально использовать результаты ранее выполненных исследований.

Экстраполяция как распространение результатов, полученных из наблюдений над одной частью явления на другую его часть или продолжение функции за пределы ее области определения, при котором продолженная функция принадлежит к заданному классу, не всегда эффективна. То, что результат воздействий факторов в изученной части явления описывается некоторой функцией отклика, не означает, что они в той же совокупности, взаимодействии и значимости будут таким же образом влиять на процесс в неисследованной области: часть факторов может остаться неизменной по характеру воздействия на отклик, часть уже не будет оказывать влияния, часть - станет значимой. При прогнозировании величин ошибок механизмов к первым относятся режимы нагружения, твердость, износостойкость материала, ко вторым - величины начальных ошибок механизмов, к третьим - текущие значения ошибок механизмов, ухудшающих условия смазывания, увеличивающих работу удара и т.п. И, если учесть, что функция, найденная методом наименьших квадратов по результатам исследования, не отражает внутренней структуры процесса, то экстраполяция в смысле принятой терминологии для реализации случайной функции изменения ошибки механизма от нара-

ботки не гарантирует точности. Поэтому процесс экстраполяции должен вначале предусматривать анализ факторов, действующих в исследованной области, затем осуществляется прогнозирование их значимости на периоде упреждения, далее на этой основе формируется прогноз изменения величины ошибки механизма, вычисляется ее значение на периоде упреждения и только после этой процедуры проводится по способу наименьших квадратов сглаживающая функция для интерполирования в изученной области и экстраполяции в неисследованной.

Формулы для нахождения законов распределения функций случайных аргументов сложны и неудобны для практического применения. Численные методы, напротив, позволяют на основе простых правил, удобных при составлении программ для ЭВМ, формировать прогнозные модели, максимально используя имеющуюся информацию об объекте, в частности, многочисленные стохастические зависимости.

Если  $Y$  - случайная функция  $X$ , то зависимость представляется в виде суммы  $Y = f(x) + V$ , где  $f(x)$  - неслучайная функция;  $V$  - случайная величина с математическим ожиданием, равным нулю, и дисперсией, равной дисперсии неадекватности, если имеет место регрессионная зависимость или дисперсии воспроизводимости опытов, если  $Y = f(x)$  - случайная функция. Затем выполняют действия, предписанные функцией  $f(x)$ , и полученный ряд распределения складывают с величиной  $V$ , при необходимости используя специально разработанную таблицу.

В условиях дрейфа многочисленных организационных, эксплуатационных и технологических факторов, когда эффект их воздействия изменяется и ранее незначимые факторы становятся существенными и наоборот, априорная информация может служить основой для исследования и установления взаимосвязей между факторами и их влияния на отклик. Во многих случаях для отремонтированных агрегатов такой информации достаточно, чтобы построить схему формирования параметров и найти оценки для законов распределения как исчерпывающие характеристики возможных состояний объектов прогнозирования, применяя результаты ранее выполненных исследований. Примерами может служить решение задач прогнозирования ошибки механизма второй передачи при достижении КП ЗИЛ-130 предельного состояния по результатам исследований на АРЕМЗ-1 и прогнозирования величин зазоров в сопряжении "гильза - юбка поршня" отремонтированных двигателей ЯМЗ-240Н после пробега 15 тыс. км по данным, полученным при исследовании работоспособности автомобилей БелАЗ-75485 в АТО "ЦАТК".

Случайность характеристик потоков агрегатов и автомобилей, поступающих и проходящих ремонт, и стремление оперативно упорядочивать и регулировать эти потоки в соответствии с потребностями перевозочного процесса делают неприемлемыми известные модели теории массового об-

служивания, так как в рассматриваемой системе промежутки времени между поступлениями в ремонт и продолжительность ремонта распределены по произвольным законам при отсутствии установившегося режима работы ремонтного предприятия, участка, цеха. Поэтому организационные показатели: программу, продолжительность простоя в ремонте, длину очереди, время ожидания, а также закон распределения выходящего потока естественно находить путем анализа схемы возможных состояний. Это дает возможность использовать дополнительную информацию, получаемую на основе оперативных прогнозов, о числе поступлений на предстоящий плановый период, продолжительности ремонта и длине очереди, образовавшейся к началу планового периода.

При заданных произвольных законах распределения независимых потоков поступлений агрегатов и их ремонта для планового периода  $Dt$  определяется закон распределения системы  $P(X_{tj}, X_{pq})$ .

Таблица 5

Закон распределения системы входящего потока и потока ремонта

$X_p$		$X_{po}$	$X_{p1}$	...	$X_{pq}$	...	$X_{pl}$
$X_t$	$P$	$P_{po}$	$P_{p1}$	...	$P_{pq}$	...	$P_{pl}$
$X_{to}$	$P_{to}$	$P_{to} P_{po}$	$P_{to} P_{p1}$	...	$P_{to} P_{pq}$	...	$P_{to} P_{pl}$
$X_{t1}$	$P_{t1}$	$P_{t1} P_{po}$	$P_{t1} P_{p1}$	...	$P_{t1} P_{pq}$	...	$P_{t1} P_{pl}$
...	...	...	...	...	...	...	...
$X_{tj}$	$P_{tj}$	$P_{tj} P_{po}$	$P_{tj} P_{p1}$	...	$P_{tj} P_{pq}$	...	$P_{tj} P_{pl}$
...	...	...	...	...	...	...	...
$X_{tm}$	$P_{tm}$	$P_{tm} P_{po}$	$P_{tm} P_{p1}$	...	$P_{tm} P_{pq}$	...	$P_{tm} P_{pl}$

В табл.5  $X_{tj}$ ,  $P_{tj}$ ,  $X_{pq}$ ,  $P_{pq}$  - состояния системы, когда в ремонт поступает  $j$  агрегатов и соответствующие им вероятности (первые два столбца), а также состояния, при которых может быть отремонтировано  $q$  агрегатов и вероятности этих событий (первые две строки); произведения  $P_{tj} P_{pq}$  - вероятности того, что в ремонт пришло  $j$  агрегатов при возможности системы отремонтировать  $q$  агрегатов в течение планового периода  $Dt$ . Очевидно, что вероятности для агрегатов, остающихся в системе на конец рассматриваемого  $Dt$  зависят от  $DX_D = X_t - X_p$  и числа агрегатов  $K$ , находившихся в системе перед началом планового периода.

Пусть  $K = 0$ , тогда вероятность того, что в системе останется  $i$  агрегатов, вычисляется суммированием элементов табл.5 по направлению левых диагоналей (снизу влево вверх) в соответствии с формулой

$$P_i = \sum_{\substack{i=j-q \\ \text{if } 0}} P_{tj} P_{pq} .$$

Вероятность отсутствия агрегатов в системе вычисляется суммированием элементов диагонали с равным числом поступивших в ремонт и отремонтированных агрегатов и всех остальных диагоналей, находящихся выше и правее (для которых  $j \neq q$ ):

$$P_o = \sum_{j \leq q} P_{tj} P_{pq} .$$

Ряд распределения выходящего потока определяется суммированием элементов табл. 5 по полупериметру в соответствии с формулой

$$P_{vi} = \sum_{q, i=j}^m \sum_{j, i=q}^l P_{tj} P_{pq} .$$

Используя приведенную методику, находят все исчерпывающие характеристики организационных показателей ремонтных предприятий, участков, цехов и их числовые характеристики.

Предельные законы и численные методы построения прогнозных моделей дают возможность решать многие задачи организации ремонта: снижение объема незавершенного производства путем оптимизации селективной сборки, заключающейся в назначении неравных допусков на сопрягаемые поверхности деталей при сохранении неизменным допуска замыкающего звена; рассчитывать оптимальную организацию процесса ремонта, используя временные цепи и осуществляя баланс сборочной линии, а также находить необходимые показатели продолжительности поточной сборки.

Рассматривая продолжительность сборки как замыкающее звено временной цепи, а промежутки времени пребывания объекта на постах как составляющие звенья, необходимо учитывать, что  $T_k = T_{ok} + T_{npk}$ , где  $T_k$  - продолжительность пребывания объекта на  $k$ -ом рабочем месте,  $T_{ok}$  - продолжительность выполнения комплекса работ на  $k$ -ом рабочем месте;  $T_{npk}$  - продолжительность задержки.  $T_{npk} = T_{k+1} - T_{ok}$  при  $T_{k+1} > T_{ok}$  имеет место простой  $k$ -го поста, при  $T_{k+1} < T_{ok}$  - простой  $k+1$  поста, при  $T_{k+1} = T_{ok}$  имеет место ритмичная работа.

Приведенные соотношения для двух соседних постов характерны для поточной линии из  $n$  рабочих мест: в случае задержки объекта на посту  $k+1$  (при отсутствии параллельных) время пребывания на посту  $k$  будет  $T_k \approx T_{k+1}$ , если даже операция будет выполнена на нем раньше. Если задержка будет на одном из следующих постов  $k+q$ , то  $T_k$  и  $T_{k+q}$  будут коррелированы.

Разработанная методика позволяет, учитывая эти особенности рассчитывать вероятности рядов распределения продолжительности сборки на отдельных участках и на всей линии и их числовые характеристики.

Экспериментальные исследования и опытно-производственная проверка моделей прогнозирования потребности в ремонтах агрегатов и автомобилей

Общая информация о факторах, имеющих место в эксплуатации, о техническом состоянии автомобилей и о возможностях инженерно-технических служб автотранспортных предприятий не позволяет оценить значимость влияния каждого из уровней факторов на работоспособность, продолжительность их воздействия на конкретный автомобиль или их совокупность, выполняющую перевозки в однородных условиях. На этом этапе накопления информации уровни факторов представлены в виде кластеров - естественных группировок - причем число их точно не установлено и границы между ними размыты. Эксперимент и обработка результатов должны устранить расплывчатость, обозначив четкие границы, с тем, чтобы была возможность по заранее определенным признакам относить объекты к соответствующим классам, а также устанавливать зависимости между принадлежностью объекта к данному классу и его показателями работоспособности и оценивать вероятности распределения искомых показателей для автомобильных парков.

При исследовании показателей работоспособности автомобилей в подавляющем числе случаев приходится иметь дело с контролируруемыми, но трудно- управляемыми и трудноизменяемыми факторами, так что целенаправленное варьирование их уровней по изначально выбранному для конкретной ситуации плану, если технически и осуществимо, то в организационном и экономическом аспекте совершенно неприемлемо. Поэтому для изучения факторов, влияющих на изменение технического состояния автомобилей используется наблюдение, тем более, что достижения математической статистики в части обработки результатов позволяют делать выводы, вполне приемлемые с позиций точности и достоверности. Принимая или отвергая выдвинутые гипотезы, исследователь продвигается к получению новой информации об объекте, опираясь на реально существующее многообразие процессов, воспроизводящихся непрерывно в течение длительного времени.

Система коэффициентов корректирования нормативов пробега автомобилей и основных агрегатов до капитального ремонта, разработанная профессором Е.С.Кузнецовым, нашла широкое применение в практике автотранспортных предприятий. Коэффициент  $K_1$  выбирают в зависимости от условий эксплуатации,  $K_2$  - от модификации подвижного состава и особенностей организации его работы,  $K_3$  - от природно-климатических условий (в сочетании с коэффициентом, учитывающим агрессивность окружающей среды  $K''$ ). Но они не исчерпывают совокупности факторов, отрицательно действующих на ресурс автомобилей, эксплуатируемых на севере. Это следует из работ Е.С.Кузнецова, где указывается на существенное влияние возрастной структуры парка ( $K_4$ ), качества проведения ТО и ТР ( $K_5$ ), квалификации во-



дителей ( $K_6$ ) и приводятся количественные оценки для основных эксплуатационных нормативов за исключением величин коэффициентов, определяющих снижение пробега до капитального ремонта.

Целью экспериментальных исследований является проведение наблюдений для проверки гипотез о числе уровней факторов и установлении значений коэффициентов  $K_4$ ,  $K_5$ ,  $K_6$ , а также коэффициента  $K_7$ , учитывающего увеличение годового пробега при двух и трехсменной работе, а также для

- получения данных для расчета вероятностей рядов распределений значений коэффициентов  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ,  $K_4$ ,  $K_5$ ,  $K_6$ ,  $K_7$ ;

- проведения опытно-производственной проверки результатов прогнозирования потребности в ремонтах автомобилей и агрегатов;

- нахождения числовых характеристик пробега автомобилей, соответствующих наработке агрегатов и узлов до предельного состояния, для обоснования номенклатуры и числа ремонтных комплектов;

- анализа качества проведения технических обслуживаний и ремонтов;

- опытно-производственной проверки эффективности прогнозных экспертных оценок.

В автотранспортных объединениях и предприятиях АО Норильский комбинат, ПО Норильскбыт, ПО пассажирского автотранспорта в течение десяти лет шло накопление информации бригадами, каждая из которых состояла из двух-трех специалистов, работающих во взаимодействии с инженерно-техническими службами предприятий.

Сведения о наблюдаемых автомобилях включают дату ввода в эксплуатацию, номер ГАИ, маршруты и их изменения, число смен работы, пробег автомобиля и его агрегатов до предельного состояния, годовой пробег, данные, характеризующие квалификацию водителей (число смен, пропущенных по болезни и по причинам, связанным с алкоголем, число смен, затраченных на устранение последствий аварий), а также изменения в организации проведения ТО и ТР. В случаях, когда агрегаты подвергались разборке с целью замен отказавших деталей, фиксировались не только отказы и причины, их вызвавшие, но и все доступные для измерения параметры.

Корректирующие коэффициенты по природе независимы, между ними отсутствует корреляционная связь, незначимы эффекты взаимодействий, и наличествуют формальные предпосылки, позволяющие предполагать существование естественных уровней.

Поэтому основной задачей явилось накопление возможно большей информации о действии исследуемого фактора на интенсивность изменения технического состояния, приводящую к стремительному исчерпанию ресурса.

Наиболее эффективным и простым, дающим минимальную ошибку способом обработки информации в данном случае представляется дисперси-

онный анализ, устанавливающий влияние качественного фактора (независимой случайной переменной), имеющего два или более уровней, на исследуемую величину, признак (зависимую случайную переменную), его модель:

$$y_{ik} = m + A_i + e_{ik},$$

где  $y_{ik}$  - значение признака  $y$  на  $i$ -м уровне при  $k$ -м повторении опыта;  $m$  - среднее значение признака по всем наблюдениям;  $A_i$  - эффект фактора  $A$ , когда он находится на  $i$ -м уровне;  $e_{ik}$  - ошибка эксперимента и действие неучетных факторов, когда  $A$  находится на  $i$ -м уровне при  $k$ -м повторении опыта.

Минимальное число наблюдений по уровням факторов рассчитывается, исходя из требуемой точности оценивания средних значений признака в группах наблюдений

$$n = S^2(y) t_{\text{деуст.кр.}}^2(a, k) / e^2,$$

где  $S^2(y)$  - оценка групповой дисперсии, определяемая на основе принципа максимальной энтропии и уточняемая по мере накопления информации;  $t_{\text{деуст.кр.}}^2(a, k)$  - критическое значение  $t$  - статистики Стьюдента при уровне значимости  $a$  и числе степеней свободы  $k$ ;  $e$  - допустимое отклонение групповой средней от неизвестного математического ожидания искомого коэффициента.

Для коэффициента  $K_4$ , оценивающего возрастную структуру парка, естественными группировками являются совокупности новых автомобилей или агрегатов, автомобилей (агрегатов), прошедших капитальный ремонт, и автомобилей (агрегатов), прошедших два и более ремонтов. Для автомобилей БелАЗ-75485, например, установлено две группы, так как при наработке до предельного состояния после первого капитального ремонта автомобили списывают.

Для коэффициента  $K_5$ , отражающего качество технических обслуживаний, установлено три группы в соответствии с уровнем механизации процессов проведения ТО и ТР. К первой группе относят совокупности автомобилей, эксплуатируемых в полевых условиях в отрыве от постоянных баз, когда обслуживание осуществляется в эпизодически появляющиеся промежутки времени с помощью ручных приспособлений и инструмента, второй группе соответствует уровень механизации  $U_m = 20\%$  и более при проведении работ на производственных участках, оснащенных оборудованием, механизированным инструментом, приборами. Третья группа включает автомобили, своевременно проходящие ТО и ТР в специализированных зонах по результатам технического диагностирования.

Для коэффициента  $K_6$ , оценивающего надежность водителей, также установлено 3 группы в соответствии с величиной  $P^*(t)$  - оценкой вероятности

безотказной работы водителя. К первой группе отнесены водители с  $P^*(t) < 0,78$ ,

ко второй - с  $P^*(t) = 0,78 - 0,85$ , к третьей - с  $P^*(t) > 0,85$ .

Коэффициент  $K_7$  определялся для односменной и трехсменной работы, исходя из того, что при двухсменной  $K_7 = 1,0$ .

Предварительная оценка степени влияния факторов на изменчивость признака осуществляется путем обработки мнений экспертов. Оценивание однородности мнений специалистов и значимости информации, заключенной в их высказываниях, осуществляется с помощью статистических критериев.

Данные наблюдений перед построением регрессионных моделей анализируются путем вычисления конечных разностей или разделенных разностей (в случае переменного шага) с целью определения порядка и вида (при многофакторной зависимости) прогнозной модели.

Для наиболее часто встречающихся при исследовании работоспособности автомобилей уравнений первого порядка при равноотстоящих экспериментальных точках коэффициент при аргументе может быть вычислен по формуле:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{s-1} i(s-i)\Delta y_i}{\sum_{i=1}^{s-1} i(s-i)},$$

где  $s$  - число экспериментальных точек; второй коэффициент

$$b = \frac{\sum_{i=1}^s (y_i - ax_i)}{s},$$

что существенно упрощает расчеты, поскольку конечные разности уже найдены до вычисления коэффициентов.

Опытно-производственная проверка моделей прогнозирования потребности в ремонтах агрегатов и автомобилей предусматривает формирование выборок, организацию наблюдений, статистический анализ результатов, определения ошибок прогнозов и их анализ с целью уточнения прогнозных моделей. Прогнозные оценки находились в соответствии с изложенной в гл.3 методикой с использованием номограммы (рис.5).

#### Сравнительная оценка точности, достоверности и экономической эффективности, алгоритмические и программные средства для реализации прогнозирования потребности в ремонтах агрегатов

Сравнительной оценкой параметров качества прогнозирования: точности, измеряемой величиной доверительного интервала для заданной вероятности осуществления прогноза, и достоверности, характеризуемой вероятностью его осуществления для заданного доверительного интервала, - может

служить абсолютная разность априорной и апостериорной энтропий, равная количеству информации о системе, выявленной при разработке прогноза.

$$|H^{pr}(X) - H^{ps}(X)| = I. \quad (10)$$

Тогда степень (сравнительной величиной) повышения точности и достоверности прогноза будет показатель эффективности, выражаемый числом, для которого логарифм при основании 2 равен абсолютному значению разности априорной и апостериорной энтропий

$$D = 2^I. \quad (11)$$

В формуле (10) разность энтропий берется по абсолютному значению, так как энтропия системы с непрерывным множеством состояний может быть положительной, отрицательной и равной нулю. Преимущества этого показателя очевидны. Его применение соответствует целям и задачам прогнозирования, так как он устанавливает связь между интервалом варьирования случайной величины, доверительной вероятностью, неопределенностью и полученной информацией.

Поскольку энтропия системы, состояния которой распределены нормально  $H(t) = \log_2 S (2pe)^{0,5} / Dt$ , где  $S$  - среднее квадратическое отклонение прогнозируемого параметра (например, наработки агрегата после ремонта  $t$ );  $Dt$  - допускаемая погрешность измерения прогнозируемого параметра.

Разность энтропий при уточнении прогноза наработки агрегата

$$I = [\log_2 S^{pr} (2pe)^{0,5} / Dt] - [\log_2 S^{ps} (2pe)^{0,5} / Dt] = \log_2 S^{pr} / S^{ps}, \quad (12)$$

где  $S^{pr}$ ,  $S^{ps}$  - соответственно, априорное и апостериорное среднее квадратическое отклонение прогнозируемой величины.

Интервал возможных значений центрированной нормально распределенной величины при заданной вероятности  $P : R_p = \pm x_p S$ . Поэтому, подставив в (12) значения  $S$  получим

$$I = \log_2 (R^{pr} / R^{ps}).$$

Показатель эффективности прогноза  $D = S^{pr} / S^{ps} = R^{pr} / R^{ps}$ . Следовательно, количество информации, содержащееся в прогнозной модели, может быть оценено разностью энтропий либо логарифмом отношения средних квадратических отклонений, либо логарифмом длин интервалов при любой вероятности. Эти оценки могут быть найдены также, если известны вероятности, характеризующие достоверность прогноза, что имеет место, когда модель при априорной величине интервала оценивает прогноз с большей доверительной вероятностью. При постоянной величине доверительного интервала  $R = 2e$  значение  $x_p = e / S$ , где  $e$  - половина величины доверительного интервала. Вероятность, характеризующая достоверность

$P = \Phi(x_p / \sqrt{2})$ . С учетом того, что  $x_p = \sqrt{2}\Phi^{-1}(P)$ , где  $\Phi^{-1}$  - функция, обратная функции Лапласа, степень увеличения достоверности прогноза

$$D = \Phi^{-1}(P^{ps}) / \Phi^{-1}(P^{pr}).$$

Количество информации, содержащееся в прогнозной модели

$$I = \log_2(\Phi^{-1}(P^{ps}) / \Phi^{-1}(P^{pr})).$$

Энтропия экспоненциального распределения  $H(t) = \log_2 e / I \Delta t$ , разность энтропий по абсолютному значению

$$|H^{pr}(t) - H^{ps}(t)| = |\log_2 I^{ps} / I^{pr}|.$$

Показатель эффективности при повышении точности и достоверности прогноза  $D = I^{pr} / I^{ps}$ . Количество информации, содержащееся в прогнозной модели при известной вероятности безотказной работы ( $P = \exp(-I t)$ , откуда  $I = -\ln P / t$ ),

$$I = \left| \log_2 \frac{\ln P^{ps}}{t^{ps}} \cdot \frac{t^{pr}}{\ln P^{pr}} \right|. \quad (13)$$

Следовательно, если речь идет о точности ( $P^{ps} = P^{pr}$ ), то  $I = |\log_2 t^{pr} / t^{ps}|$ , если прогноз оценивается достоверностью ( $t^{pr} = t^{ps}$ ), то  $I = |\log_2 \ln P^{ps} / \ln P^{pr}|$ . Подставляя в (13) значение  $I$ , находят показатель эффективности  $D = (\ln P^{pr} / t^{pr}) (t^{ps} / \ln P^{ps})$ . Если прогноз оценивается повышением точности ( $P^{ps} = P^{pr}$ ), то  $D = t^{ps} / t^{pr}$ , если сравнительной величиной является достоверность ( $t^{ps} = t^{pr}$ ), то  $D = \ln P^{pr} / \ln P^{ps}$ .

Одним из главных принципов построения прогнозных моделей является максимальное использование накопленных знаний об объектах прогнозирования, касающихся структуры процессов их образования и развития, включая законы распределения, коэффициенты корреляции, регрессионные уравнения и др. Во многих случаях предварительно полученные результаты, как было показано выше, непосредственно вводятся в прогнозную модель. Сравнивая количество информации, полученное расчетным путем с возможными затратами на проведение дорогостоящих экспериментов, оценивают эффективность использования результатов, полученных ранее. Количественное оценивание качества прогнозных моделей с позиций полноты учета влияния на объект технологических и эксплуатационных факторов может быть осуществлено путем вычисления полной взаимной информации. При известном коэффициенте корреляции между измеренной величиной  $Z_0$  (исходная информация) и прогнозируемой с возможной ошибкой  $V$  величиной  $Z$  полная взаимная информация

$$I_{z_0 \leftrightarrow z} = \log_2(\Delta V / \Delta Z \sqrt{1 - r^2(Z_0, Z)}),$$

где  $DV$ ,  $DZ$  - величины интервалов в разрядах рядов распределений, "участки нечувствительности", характеризующие точность величин  $V$  и  $Z$ ;  $r^2(Z_0, Z)$  - коэффициент корреляции.

Совокупность методов разработки моделей и средств реализации прогнозов, охватывающих все аспекты ремонта, образует проблеморазрешающую подсистему, которая на базе дифференцированных цен стимулирует повышение качества ремонта и обеспечивает получение средств для развития и совершенствования ремонтного производства. В основе методики определения числа и границ категорий качества изделий после ремонта и надбавки к цене лежит прогноз. Чем он точнее, тем больше надбавка и меньше потери по рекламациям. Возникающие из-за множества широко варьирующих неуправляемых и трудноконтролируемых факторов неопределенности могут быть уменьшены при минимуме материальных затрат или даже без них, а только за счет эффективного прогноза. Следовательно, экономия, увеличивающаяся с увеличением информации, использованной при разработке прогноза, определяет цену одной двоичной единицы. В первом приближении она может быть оценена формулой

$$C = (C^{Pr} - C^{Ps}) / |H^{Pr} - H^{Ps}|, \quad (14)$$

где  $C^{Pr}$  - денежное выражение суммарных затрат труда, средств, материалов и времени априори;  $C^{Ps}$  - то же, при уточнении прогноза;  $|H^{Pr} - H^{Ps}|$  - количество информации, использованное при уточнении прогноза.

Обеспечение работоспособности автомобильного парка предполагает подготовку ремонтных комплектов (узлов, заменяющих отказавшие или выработавшие ресурс) таким образом, чтобы запасы не истощались и имел место минимум затрат на их производство или ремонт и хранение при наличии ограничений. Стратегия пополнения резервов, обеспечивающих бесперебойную замену двигателей ЯМЗ-240Н для перевозящих руду автомобилей БелАЗ-75485, рассчитывалась при минимуме резервных агрегатов на конец планового периода и ограничениях на уровень запасов  $z$  и число ремонтов в течение декады  $x$   $0 \leq z \leq 4$ ;  $0 \leq x \leq 5$ . Методика основана на известных положениях теории вероятностей и динамического программирования, причем рекуррентное соотношение задачи управления запасами обобщено на множество состояний объекта исследования.

$$f_k(z) = \min \left[ J_p(x) + J_c \sum_{j=1}^s p_j(z+x-d) + \sum_{j=1}^s p_j f_{k-1}(z+x-d) \right], \quad (15)$$

где  $f_k(z)$  - значение функции, отвечающее стратегии минимальных затрат на  $k$  оставшихся отрезках (декад) планового периода при уровне запасов  $z$ ;  $J_p(x)$  - сводный индекс затрат на ремонт  $x$  двигателей;  $J_c$  - сводный индекс затрат на хранение агрегатов;  $p_j$  - вероятность потребности в  $j$  агрегатах в те-

чение декады;  $s$  - возможное число автомобилей, требующих замены двигателей в течение декады;  $z, x, d$  - соответственно, возможное число резервных агрегатов на начало  $k$ -й декады, ремонтируемых двигателей и потребности в агрегатах в течение  $k$ -ой декады;  $f_{k-1}(z + x - d)$  - значение функции, отвечающее стратегии минимальных затрат на  $k-1$  оставшихся отрезках планового периода при фиксированных  $z, x, d$ .

Декадная потребность  $d$  в капитально отремонтированных двигателях ЯМЗ-240Н предварительно по выборке небольшого объема была охарактеризована эмпирическим распределением вероятностей  $P^*(d_1)$  (табл.6), которое было принято в качестве прогнозной оценки потребности при стабильном прогнозном фоне. Дальнейшие наблюдения в течение четырех лет при практически не изменяющихся эксплуатационных условиях и условиях ремонта позволили получить более устойчивые оценки вероятностей, обусловивших распределение  $P^*(d_2)$ , представленное в третьей и четвертой строках табл.6.

Таблица 6

Оценки распределений потребности в ремонтах двигателей ЯМЗ-240Н

$d_1, ум.$	2	3	4	5
$P_1^*$	0,05	0,80	0,10	0,05
$d_2, ум.$	-	3	4	-
$P_2^*$	-	0,70	0,30	-

Расчет индекса затрат на ремонт (затраты, отнесенные к цене нового автомобиля БелАЗ-75485) с использованием соотношения (15), показывает, что изменение стратегии пополнения оборотного фонда за два месяца позволило получить экономию, соответствующую цене одного капитально отремонтированного двигателя, при этом она достигнута без каких-либо материальных затрат.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Предложенная классификация методов и объектов прогнозирования потребности в ремонтах агрегатов и автомобилей базируется на фундаментальных законах теории вероятностей. Выбор метода осуществляется с помощью критериев, согласующих доверительную вероятность, доверительный интервал, количество и качество информации. Классификация последовательная, с единым признаком, исключающим пересечение классов, охватывает все объекты ремонта, проста и алгоритмизируема. Принципиальная последовательность выбора метода прогнозирования предполагает отнесение исследуемого объекта к одному из классов в соответствии с имеющейся о нем информацией.

2. Предлагаемый способ определения потребности в ремонтах агрегатов и автомобилей с целью поддержания их работоспособности базируется на численных методах, позволяющих учитывать любое число факторов, влияние которых на объект может быть оценено с помощью известных закономерностей либо методами экспериментальных исследований, что повышает эффективность прогнозирования, так как охват моделью максимального количества информации повышает точность и достоверность оценок. Ошибки прогнозов, разрабатываемых на основе устойчивости средних значений и относительных частот, не выходят за пределы 15%.

3. Несмотря на существенное рассеивание календарного пробега, среднее число автомобилей, формирующих годовую программу предприятия, практически утрачивает характер случайности и с приемлемой точностью может служить не только исходной величиной при проектировании новых и реконструкции действующих, но при расчетах текущей загрузки предприятия. Интенсивность изнашивания деталей, сопряжений и узлов автомобилей при многократном воспроизведении условий перевозок может быть охарактеризована средним значением. При изменяющихся условиях оценивается устойчивость относительных частот вариантов нагружений и в случае их стабильности для каждого варианта разрабатывается прогноз на основе устойчивости условных средних значений. Оптимизация программ ремонта агрегатов и автомобилей с использованием прогнозных оценок на предприятиях АО Норильский никель позволила снизить простой в ремонтах автомобилей КамАЗ - 6510 в среднем до 20 дней вместо 22, КамАЗ-5511 - до 18 вместо 21.

4. Способ поддержания работоспособности автомобилей на основе ненагруженного резервирования предусматривающего замену отказавших элементов на заранее подготовленные ремонтные комплекты, позволяет, используя штатную информацию инженерно-технических служб автотранспортных предприятий, находить число и номенклатуру комплектов, базирясь на методе устойчивых средних значений и объективных статистических критериях. Оптимизация номенклатуры и количества запасных частей для двигателя КамАЗ -740 и автомобилей семейства КамАЗ дала возможность в тресте механизации и благоустройства ПО Норильскбыт при незначительном увеличении затрат на запчасти и подготовку ремонтных комплектов уменьшить в среднем на 2 дня простой в плановых и аварийных ремонтах при снижении трудоемкости ремонта на 10%.

5. Предложенная классификация динамических моделей позволяет на основе статистических критериев оценивать экспериментальные зависимости с позиций устойчивости средних значений отклика в точках эксперимента, допустимой погрешности, величины коэффициента корреляции и адекватности экспериментальным данным.



6. Классификация моделей прогнозирования, базирующихся на предельных законах, позволяет на основе единства признака использовать их в сочетании с моделями устойчивых средних значений и относительных частот. Это дает возможность решать технологические и организационные задачи, охватывающие многочисленные процессы ремонта. Благодаря устойчивости и безграничной делимости широко применяемых в эксплуатации и ремонте законов распределения осуществляется дифференциация технологического процесса сборки и формирование комплексов работ на постах, расчет временных цепей и др. Рациональная организация, планировка и оснащение рабочих мест, выполненные на основе прогнозных оценок времени выполнения комплексов работ на постах ремонтного участка Горно-транспортного предприятия, позволили снизить трудоемкость ремонта двигателей ЯМЗ-236 со 186 до 172 чел.-ч, и ЯМЗ-238 - со 198 до 186 чел.-ч.

7. Предельные законы позволяют разрабатывать простые модели прогнозирования внезапных отказов, возникающих по причине отклонений от технических условий проведения технологических процессов, и вносить коррективы в документацию, организацию производства и оснащенность рабочих мест. На базе прогнозных оценок в Горно-транспортном предприятии и в Управлении автомобильных дорог и снегоборьбы организован оптимальный резервный фонд агрегатов для замен в случаях внезапных отказов, позволивший снизить продолжительность простоя автомобилей во внеплановых ремонтах на 10%.

8. Реализация запаса точности механизмов, представляемая в виде случайной функции, дает возможность на основе устойчивости распределений ошибок механизмов и наработок изделий прогнозировать наряду с другими показателями минимальную гарантированную с заданным уровнем доверительной вероятности наработку до отказа. Безграничная делимость предельных законов позволяет осуществлять каноническое разложение случайных функций наработок изделий с целью уменьшения апостериорной дисперсии прогноза за счет использования дополнительной информации об особенностях ремонта или эксплуатации. Аттестация качества капитально отремонтированных изделий на основе прогноза предполагает установление дифференцированной цены в соответствии с гарантируемой наработкой, что является источником укрепления экономики предприятия, развития и совершенствования технологии и организации ремонта.

Принятая к внедрению в марте 1973 г. На заводе АРЕМЗ-1 Главмосавтотранса методика вкуче с комплексом организационно-технических мероприятий позволила получить годовой экономический эффект в размере 83,9 тыс. рублей (в ценах 1974 г.) и увеличить гарантийную наработку коробок передач автомобиля ЗИЛ-130 после ремонта до 40 тыс. км.

9. Представленные теоремы о числовых характеристиках являются действенным средством полного и непосредственного использования ранее выполненных исследований в виде эмпирических формул, распределений или их параметров при разработке прогнозных моделей.

10. Простые и удобные для составления машинных программ правила нахождения законов распределения функций случайных аргументов позволяют при построении прогнозных моделей непосредственно использовать ранее полученные регрессионные уравнения и случайные функции, максимально используя накопленные знания об объектах прогнозирования.

На их основе разработан способ прогнозирования организационных показателей ремонтных предприятий, как систем массового обслуживания, функционирующих в нестационарном режиме и способ вычисления параметров поточной сборки автомобилей БелАЗ - 75485.

Формирование годовой производственной программы в АТО «ЦАТК» с помощью прогнозных оценок потребности в ремонтах агрегатов автомобиля БелАЗ-75485 и расчет оптимальной продолжительности сборки на линии привели к сокращению времени пребывания автомобиля в ремонте с 26 до 24 дней.

11. Методика экстраполяции реализаций нестационарного случайного процесса изменения ошибки механизма в соответствии с критерием минимального среднего квадратического отклонения значений найденной функции в узлах экстраполяции от априорных и апостериорных значений, полученных в результате наблюдений и прогноза, базируется на прогнозах воздействия факторов на отклик, их взаимной связи и значимости с учетом реально возможных вариаций процесса, снижая ошибку прогноза в среднем на 20%.

12. На основе свойств конечных и разделенных разностей сформулированы последовательности анализа данных наблюдений с целью определения порядка и вида одно и многофакторных зависимостей, а также для часто применяемых моделей получены простейшие соотношения для вычисления коэффициентов регрессии, позволяющие на 10 % сократить объем вычислительных работ.

13. Использование величины абсолютной разности априорной и апостериорной энтропий в качестве меры повышения точности и достоверности прогнозов соответствует целям и задачам прогнозирования, так как она устанавливает связь между интервалом варьирования прогнозируемой величины, доверительной вероятностью, неопределенностью системы и информацией, содержащейся в прогнозной модели, благодаря чему у исследователя всегда есть оценка известного и неизвестного, стимулирующего поиск. Для часто используемых предельных законов количественная оценка повышения точности и достоверности прогнозных моделей, а также степень увеличения

этих параметров по сравнению с априорными осуществляется с помощью простых соотношений.

На базе разработанных показателей предложен способ количественной оценки информации, полученной в результате ранее выполненных исследований и использованной при построении прогнозных моделей, ее значимости и эффективности, а также способ оценки значимости информации, полученной экспертным методом.

Трудоемкость и продолжительность формирования прогнозных моделей благодаря использованию ранее выполненных исследований может быть уменьшена на 15...20 процентов.

14. Наглядные и очевидные преимущества более точного и достоверного прогноза, проявляемые при краткосрочном и оперативном прогнозировании, позволяют существенно снизить затраты при формировании резервов. Вместе с достижением экономии обеспечивается планомерная загрузка ремонтного предприятия.

Благодаря более точному прогнозу, позволившему изменить стратегию поддержания работоспособности автомобилей БелАЗ -75485 в АТО «ЦАТК», упорядочив организацию ремонта двигателей ЯМЗ-240Н, за счет снижения объема незавершенного производства получена годовая экономия в размере 600 тыс. рублей (в ценах мая 1998 г.).

15. Минимизация возможных потерь при проектировании ремонтных предприятий, технологических процессов ремонта, установлении норм точности, разработке технических условий благодаря точным и достоверным прогнозам дает возможность оценить в денежном выражении количество информации, содержащееся в прогнозной модели. Использование предложенных методик в деятельности ремонтных служб Норильского региона позволяет на 7...10 процентов снизить затраты на ремонт автомобилей и агрегатов.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих печатных трудах:

1. Алифанов А.Л. Некоторые вопросы селективной сборки при ремонте машин.- Красноярск. КПИ. В кн.: Пути совершенствования использования автотранспортных средств в Красноярском крае.- Красноярск, КПИ, 1971.- С.153-157.

2. Дехтеринский Л.В., Норкин С.Б., Апсин В.П., Алифанов А.Л. Методика заводской аттестации качества капитально отремонтированных изделий. В кн: Новые методы технологии капитального ремонта автомобилей.- М.: ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР,- 1973.- С.38-54.

3.Дехтеринский Л.В., Апсин В.П., Алифанов А.Л. Прогнозирование свойств капитально ремонтируемых изделий. // Труды МАДИ, вып.59, М., 1973. С.119-123.

4.Дехтеринский Л.В., Апсин В.П., Алифанов А.Л., Гусев Д.А. К вопросу определения допусков при селективном подборе деталей ремонтируемых изделий. // Труды МАДИ, вып.59, М., 1973.- С.85-87.

5.Дехтеринский Л.В., Апсин В.П., Алифанов А.Л. Определение предельного состояния механизмов коробок передач при накапливающихся повреждениях в условиях эксплуатации. //Труды МАДИ, вып.75, М., 1974.- С.85-89.

6.Дехтеринский Л.В., Норкин С.Б., Апсин В.П., Алифанов А.Л. Методика определения сортности капитально ремонтируемых изделий.// Надежность и контроль качества, № 4, 1974.- С. 14-23.

7.Дехтеринский Л.В., Апсин В.П., Гусев Д.А., Черников Б.Г., Алифанов А.Л. Методика проведения контрольных испытаний капитально отремонтированных коробок передач автомобиля ЗИЛ-130. // Труды ВЗПИ, вып.52, М., 1974.- С.77-80.

8.Липкинд А.Г., Гринберг П.И., Алифанов В.П. Индивидуальное прогнозирование надежности узлов и агрегатов автомобиля.// Труды НИИАТ, М., 1979.- С.82-86.

9.Диев А.Е., Алифанов А.Л. Устройство для определения режима работы гидропривода машин в условиях эксплуатации. Красноярск. ЦНТИ. Информационный листок № 507-90, 1990.- 2 с.

10.Алифанов А.Л., Диев А.Е. Надежность строительных машин.- Норильск: Норильский индустр. ин.-т.,1992.- 108 с.

11.Алифанов А.Л. Прогнозирование надежности дорожных машин.- Норильск: Норильск, индустр. ин.-т, 1994.-128 с.

12.Алифанов А.Л., Диев А.Е. Определение остаточного ресурса узлов гидропривода с применением номограмм. // Деп. МАШМИР, 1992.- 4 с.

13.Диев А.Е., Носов С.В., Коротких Б.И., Алифанов А.Л., Романенко Е.А. Устройство для диагностики технического состояния гидравлической системы, а.с. №385091 -1990.

14.Алифанов А.Л., Козлова С.Л. Выбор параметров при прогнозировании износа деталей.// Деп. МАШМИР, № 8, 1994.- 8с.

15.Алифанов А.Л., Диев А.Е. Анализ функционирования ремонтного предприятия как системы массового обслуживания.// Деп. МАШМИР, № 8, 1992.- 8с.

16.Алифанов А.Л., Козлова С.Л. Вероятностный анализ разрушения поверхностей деталей при абразивном износе.// Деп. МАШМИР, № 10,1994.- 6с.

17.Диев А.Е., Алифанов А.Л. Исследование режимов работы гидропривода машин при низких температурах.// Труды НИИ, Норильск, 1995.- С.84-88.

18.Алифанов А.Л., Козлова С.Л. О показателях ремонтного предприятия как системы массового обслуживания.// Труды НИИ, Норильск, 1995.- С.95-98.

19.Алифанов А.Л. Проектирование ремонтных предприятий как систем массового обслуживания.- Норильск: Норильский индустр. ин-т., 1995.- 92с.

20.Алифанов А.Л. О прогнозировании в ремонтном производстве.// Деп. МАШМИР, № 6, 1996.- 26с.

21.Алифанов А.Л., Калайда А.Ю. Программное обеспечение прогнозирования региональной потребности в ремонтах автомобилей.// Деп. ВИНТИ, № 10,1997.- 10с.

22.Алифанов А.Л., Калайда А.Ю. Пакет программ для расчета прогнозных оценок организационных показателей ремонтных предприятий.// Деп. ВИНТИ, № 10,1997.-7с.

23.Алифанов А.Л., Калайда А.Ю. Алгоритм выбора метода прогнозирования для определения потребности в ремонтах автомобилей.// Деп. ВИНТИ, № 11,1997.- 5с.

24.Алифанов А.Л., Козлова С.Л. Прогнозирование надежности машин на основе схемы формирования ошибки механизма.// Известия вузов. Машиностроение, №7, 1995.- С.6-11.

25.Алифанов А.Л., Сладкова Л.А. О прогнозировании надежности машин.// Вестник машиностроения, № 3, 1996.- С.9-11.

26.Алифанов А.Л. Прогнозирование внезапных отказов. // Механизация строительства, № 9, 1996.- С.13-14.

27.Алифанов А.Л. Об экстраполяции реализации случайной функции наработки от ошибки механизма.// Известия вузов. Машиностроение, № 10-12,1996.- С.64-67.

28.Алифанов А.Л., Козлова С.Л. Организационные показатели ремонтного предприятия как системы массового обслуживания.// Известия вузов. Машиностроение, № 10-12, 1996.- С.123-127.

29.Алифанов А.Л., Диев А.Е., Сладкова Л.А. Методика формирования ремонтных комплектов.// Строительные и дорожные машины, № 11, 1996.- С.27-28.

30.Алифанов А.Л., Сладкова Л.А. К вопросу обработки экспериментальных данных при абразивном изнашивании.// Трение и износ, № 2, том 17, 1996.-156-162.

31.Алифанов А.Л. Экономическая эффективность прогнозирования надежности капитально отремонтированных изделий.// Известия вузов. Машиностроение, № 1-3, 1997.- С.118-124.

32.Алифанов А.Л. Быстрые методы прогнозирования надежности машин.// Механизация строительства, № 5, 1997.- С.8-10.

33.Алифанов А.Л. Северные регионы. Потребность в ремонтных комплектах для автомобилей.// Автомобильная промышленность, № 12, 1997.- С.20-22.

34.Алифанов А.Л., Сладкова Л.А. Практическое применение метода разделенных разностей при оценке надежности машин.// Заводская лаборатория, № 7, 1997.- С.49-53.

35.Алифанов А.Л. К вопросу оценки качества прогнозирования показателей надежности капитально отремонтированных агрегатов.//Проблемы машиностроения и надежности машин, № 5, 1997.- С.101-105.

36.Алифанов А.Л. Прогнозирование надежности агрегатов после ремонта на основе метода коллективной экспертной оценки.// Механизация строительства, № 7, 1998.- С.11-14.

37.Алифанов А.Л. Об обеспечении эксплуатационной надежности автомобилей, используемых в северном регионе, на основе прогнозирования.// Известия вузов. Машиностроение, № 4-6, 1998.- С.74-79.

38.Алифанов А.Л. Прогнозирование потребности в ремонтах автомобилей, эксплуатирующихся в северном регионе.// Известия вузов. Горный журнал, № 4, 1998.- С.72-76.

39.Алифанов А.Л. Прогнозирование потребности в ремонтах агрегатов и автомобилей, эксплуатирующихся в северном регионе.// Проблемы машиностроения и надежности машин, № 4, 1998.- С.96-101.

40.Алифанов А.Л. О значимости предварительной информации в прогнозных моделях.// Деп. ВИНТИ, № 3031-В98, 1998.- 5с.

41. Алифанов А.Л. О продолжительности поточной сборки автомобилей. // Деп. ВИНТИ, №3488-В98, 1998. – 4с.