

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

2. 1. КРИТЕРИИ ВЫБОРА СТРАТЕГИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ

Автомобильный транспорт, обеспечивающий жизнедеятельность в регионе и нормальное функционирование Норильского горно-металлургического комбината, в том числе перевозки технологических грузов и пассажиров, включает автомобили практически всех моделей, выпускаемых в России и ближнем зарубежье. Удаленность от поставщиков и широкая номенклатура запасных частей, исчисляемая десятками тысяч наименований, предопределяет большие затраты на завоз и хранение, вызывая необходимость строительства и оснащения дорогостоящим оборудованием и без того многочисленных складских помещений.

С другой стороны, природно-климатические условия, характеризующие совокупностью неблагоприятных факторов, обуславливают увеличение расхода запасных частей, числа технических обслуживаний, текущих и аварийных ремонтов агрегатов, трудоемкости и продолжительности их проведения, снижая коэффициент выпуска и коэффициент технической готовности, непосредственно связанных с показателями надежности автомобилей [167], при чрезмерном увеличении производственных площадей, числа квалифицированных специалистов, количества оборудования, приспособлений и инструмента.

Положение усугубляется тем, что простая и привычная стратегия резервирования путем замены отказавшей детали существенно снижает качество ремонта [100] из-за вероятного уменьшения натяга в неподвижном соединении и ускоренного износа деталей в подвижном, поскольку в этом случае

рабочая поверхность новой детали сопрягается с поверхностью, имеющую макро и микрогеометрию, сформированную при работе в сопряжении с замененной деталью, имевшей параметры, выходящие за пределы допуска, существенно отличающиеся от параметров новой детали.

Внедрение стратегии резервирования с помощью ремонтных комплектов, устраняя этот недостаток, наряду с организационными трудностями, оказавшимися непреодолимыми даже в районах с развитой инфраструктурой, содержащей все отрасли хозяйства, способные удовлетворить потребности автомобильного транспорта, практически не уменьшает продолжительность простоя автомобилей в ремонте и не решает радикально проблему снижения объема ремонтных работ в автотранспортных предприятиях северного региона.

Несмотря на то, что каждая из стратегий имеет свои положительные стороны, при нерациональном их применении и невысоком уровне надежности автомобилей они не стимулируют заводы-изготовители к его повышению, не снижают эксплуатационных затрат и сводят к минимуму эффективность фирменного ремонта.

Важнейшим свойством наряду с долговечностью, эксплуатационной технологичностью и сохраняемостью автомобиля, эксплуатируемого на севере, является безотказность, гарантирующая как сохранение его работоспособности, так и здоровье и жизнь водителя и пассажиров, работающих в экстремальных условиях. Это вынуждает автотранспортные предприятия закупать в дальнем зарубежье автомобили, высокая цена которых окупается благодаря существенному снижению затрат на эксплуатацию.

Между тем, разработанная в 30-х годах профессором В. В. Ефремовым система ремонта, учитывающая тогдашнее несовершенство конструкций автомобилей, состояние отечественных дорог и реальных возможностей технологии восстановления, была не только эффективна в своё время, но и оказалась настолько устойчивой, что все её элементы вкупе с развивающейся сис-

темой диагностирования позволяют до сих пор автомобильному транспорту выполнять постоянно усложняющиеся задачи, несмотря на экономические трудности последних лет.

Данные эксплуатации, расчеты и экспертные оценки показывают, что для повышения эксплуатационной надежности автомобилей, включая автомобили в северном исполнении, в части увеличения наработки на случай простоя и уменьшения его продолжительности на автотранспортных предприятиях севера приемлемым является вариант резервирования, базирующийся на более целесообразном использовании известных методов. При этом выбор стратегии производится на основе диагностирования, а в качестве критерия принимается продолжительность простоя автомобиля в ремонте.

Поддетальная замена применяется только для деталей и сборочных единиц, которые в процессе эксплуатации не снижают свой потенциал и потенциал работоспособности сопряженных с ними элементов автомобиля: в частности, для рам, кузовов, кабин и их составляющих частей, оперения, дисков колес, поддонов, резинотехнических изделий и др.

Резервирование путем замены сборочных единиц и подузлов осуществляется, когда поддетальная замена неэффективна и поверхности деталей замененной сборочной единицы или подузла не претерпевают взаимного влияния на работоспособность сопряженных поверхностей деталей узла. К таким составным частям автомобиля относятся крестовины карданов в сборе, карданные валы в сборе, топливные насосы, форсунки, гидроцилиндры, масляные насосы и др.

Замена узлов (агрегатов) производится в тех случаях, когда первые две стратегии оказываются неприемлемыми. Решение о выборе вариантов: менять шток или гидроцилиндр, плунжерные пары или топливный насос, шатунно-поршневую группу или двигатель, - принимается, исходя из минимальной продолжительности простоя автомобиля в ремонте по результатам диагностирования.

Замененные подузлы и узлы направляются в зону текущего ремонта, где уточняется объем работ, осуществляемых заменой деталей, сборочных единиц, либо их совокупностей, образующих сменяемые ремонтные комплекты. При необходимости замены базовых ремонтных комплектов [29] агрегаты направляются в цех капитального ремонта, в функции которого входит также восстановление и изготовление деталей и сборочных единиц и формирование сменяемых ремонтных комплектов для зон технического обслуживания и текущего ремонта.

Единственным условием успешного функционирования предложенной схемы организации эксплуатационного резервирования является выпуск заводами-изготовителями достаточного количества подузлов и агрегатов, что объективно должно быть для них выгодно ввиду относительно меньшей энергоемкости и материалоемкости, чем при изготовлении деталей и формировании комплектов, но большей трудоемкости (преимущественно квалифицированного ручного труда) сборочных работ [214], а, следовательно, большей занятости и большей заработной платы.

С другой стороны, автотранспортным предприятиям северного региона целесообразнее закупать по высокой цене подузлы и узлы в сборе, нежели создавать собственное слишком громоздкое ремонтное производство, не всегда обеспечивающее надлежащий уровень надежности.

2. 2. МЕСТО ПРОГНОЗА В КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ РЕМОНТА

Структура ремонтного подразделения со множеством взаимосвязанных элементов эффективно выполняет свое назначение: выпуск изделий заданного уровня качества - только в том случае, если имеет место постоянное планомерное воздействие совокупности технических, организационных и экономических мероприятий КС УКР,

обеспечивающей совершенствование технологических методов и организационных форм. Целенаправленность и оптимальность этого процесса обеспечивается прогнозированием. Оно охватывает все аспекты ремонта как по вертикали (от состояния обслуживаемого парка в количественном и качественном отношении до величины компенсации износа поверхности детали), так и по горизонтали (от контроля ремонтного фонда до аттестации отремонтированных изделий).

Для нормального функционирования большой (поскольку моделирование ее затруднительно вследствие многомерности) и сложной (вследствие неполноты информации об элементах) подсистемы необходима совокупность методов прогнозирования и средств реализации прогнозов, в свою очередь, образующих большую и сложную подсистему прогнозирования.

Исследование многообразных явлений и процессов, происходящих в ремонте, и построение адекватных реальным условиям моделей (в первую очередь прагматических) требует применения системного анализа, отличающегося “междисциплинарным и наддисциплинарным характером и вовлечением в работу как неформальных, эвристических, экспертных методов, так и эмпирических, экспериментальных методов, а также при возможности и необходимости строгих формальных математических методов” [217].

Широкий спектр источников информации, целевых способов ее обработки и разнообразие моделей позволяет осуществлять всестороннюю верификацию прогнозов и их корректировку. Относительно небольшой период упреждения дает возможность в короткие сроки собрать информацию об эксплуатационных показателях качества, осуществить постпрогнозный анализ и уточнить прогнозную модель (рис.2.1).

КС УКР является проблемосодержащей системой, поскольку управление качеством требует существенных затрат на реконструкцию зданий и сооружений, приобретение и модернизацию технологического оборудования, на пополнение производственных запасов и стимулирование труда исполнителей.

Система прогнозирования, на основе которой устанавливается категория качества и, как следствие, дифференцированная надбавка к цене капитально отремонтированного изделия [99], решает эту важнейшую задачу экономики ремонта.

Другая сторона проблемы повышения качества капитального ремонта - установление норм точности, твердости, износостойкости и других физико-механических свойств восстанавливаемых деталей, определяющих технологию восстановления в целом и параметры техпроцессов в частности. Решение этих задач, а также разработка технических условий на выполнение всех без исключения операций технологических процессов ремонта от приемки машин до сдачи готовой продукции, организация производственных процессов, включая снабжение и сбыт, не может совершенствоваться без предварительных прогнозных оценок и проверки эффективности принятых решений при проведении постпрогнозного анализа (рис. 2. 2).

Поэтому подсистема прогнозирования качества ремонта, будучи составной частью КС УКР, является проблеморазрешающей подсистемой, прокладывающей пути совершенствования ремонтного производства, обеспечивающей средства достижения целей и оценивающей эффективность результатов.

2. 3. ОСОБЕННОСТИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ РАЗРАБОТКИ ПРОГНОЗОВ И СОДЕРЖАНИЕ ЭТАПОВ

Нормативный прогноз в части количества и качества ремонта изделий, соответствующего способности конкурировать и макси

мально удовлетворять требования потребителей, формируется на основании возможного спроса. Он же, в свою очередь, прогнозируется, исходя из возможных путей развития экономики и, в частности, тех ее аспектов, в которых функции, выполняемые изделием, являются необходимым компонентом. Таким образом, поисковый прогноз в экономике предопределяет нормативный прогноз качества изделия, на основе которого устанавливаются конкретные цели и сроки достижения требуемого уровня качества всеми составляющими иерархической структуры от элементарной поверхности до собранного изделия и технологической цепи (от приемки изделия в ремонт до сдачи его заказчику).

Изыскание средств достижения поставленных целей обеспечивает поисковый прогноз, базирующийся на ранее выполненных исследованиях и практически достигнутом уровне развития производства, результатах исследований в смежных прикладных областях знаний, а также на новейших разработках фундаментальных наук. Если результат поискового прогноза выражается в виде комплексного обобщенного показателя, то он представляется как нормативный прогноз для величин входящих в него единичных показателей.

Следующий шаг - вновь поисковый прогноз с целью установления оптимальных величин единичных показателей. Его результат - нормативный прогноз для следующего третьего шага поиска, на котором выявляется связь между единичным показателем и параметрами технологических процессов. А параметры техпроцессов, в свою очередь, являются нормативным прогнозом, предполагающим разработку поискового прогноза, устанавливающего номенклатуру оборудования, приспособлений и инструмента. Поскольку исходный нормативный прогноз предусматривает помимо уровня качества определение необходимого количества изделий, следующие шаги цепочки

“норматив - поиск” решают задачи технологии и организации, включая планировку производственных участков и вспомогательных помещений.

Следовательно, процесс прогнозирования сводится к последовательным итерациям, суть которых - выявление связей между i -м и $i+1$ -м шагами, между следствием и причиной, между i -м нормативом, установленным по результатам i -го поиска и формирующими его факторами. Остальные действия по систематизации, ранжированию, оптимизации и др. играют важную, но вспомогательную роль.

На каждом $i+1$ -м шаге осуществляется верификация прогноза с целью проверки обоснованности и его соответствия i -му и всем предыдущим итеративным шагам, поскольку прогноз является вероятностным суждением и небольшие отклонения на каждом шаге могут существенно исказить конечный результат. Одновременно производится оценивание точности и достоверности, так как с каждым шагом из-за накопления погрешностей увеличивается ее суммарная величина. Верификация (прямая или косвенная, проводимая экспертом или оппонентом, логическим или аналитическим путем) способствует выявлению и учету дополнительной информации и дает возможность корректировать поисковые прогнозы и нормативные показатели. Такой подход обеспечивает соответствие разработки прогноза основным принципам прогнозирования как необходимым условиям его рентабельности: системности, согласованности, вариантности, непрерывности, верифицируемости. Последовательность разработки системного прогноза представлена на рис. 2. 3.

Связь между i -м и $i+1$ -м шагами итераций отыскивается различными методами, осуществляемыми в несколько этапов. Их содержание имеет общие черты, присущие всем методам.

Первый этап, предусматривающий анализ проблемы, выявление объекта, предварительное оценивание периода упреждения прогноза и прогнозного горизонта, осуществляется в период предпрогнозной ориентации и разработки задания на прогноз, когда формулируются цели, задачи и намечается порядок его разработки (рис. 2. 4). Выполнение этой работы требует разносторонних и глубоких профессиональных знаний, поэтому к ней привлекаются компетентные специалисты в области математики, экономики, технологии и организации производства, высококвалифицированные исследователи и расчетчики, обладающие большим опытом и интуицией, способные выносить достоверные суждения об объекте прогнозирования. Принципы комплектования экспертных групп и организации их деятельности достаточно подробно изложены в работах [130, 131, 154, 280].

Второй этап - это расчет периода основания прогноза, на котором производится прогнозная ретроспекция и устанавливается прогнозный диагноз. При этом осуществляется сбор и предварительная обработка информации об эндогенных и экзогенных переменных объекта прогнозирования, образующих прогнозный фон, их взаимной связи и значимости, анализируется предыстория процесса для выявления возможных ситуаций, при которых незначущая переменная становится существенно влияющей на поведение объекта. Полнота исходной информации обеспечивается источниками фактографической, опережающей и экспертной информации. Систематизация и формирование информационного массива производится в соответствии с задачами и специфичностью объекта прогнозирования. На этом этапе проводится анализ структуры объекта прогнозирования для выявления связей между элементами, а также анализ динамики его изменения с целью оценивания тенденции развития и выбора моде

лей и методов [50, 73, 170, 206, 207].

Третий этап - прогнозная проспекция - решает задачу обоснования, построения, проверки адекватности прогнозной модели. Особенностью этого этапа является главенство статистического метода, который лежит в основе не только большого числа процедур планирования и обработки результатов экспериментов и наблюдений, но и является наиболее эффективным средством обоснования и оценивания достоверности моделей, получаемых с использованием аналогий, опережающей информации и мнений экспертов. Теория и практическое применение известных методов разработки прогнозных моделей представлена в трудах [71, 98, 99, 165, 140, 204].

Четвертый этап - верификация и корректировка прогноза. Полная картина будущего не может быть исчерпывающе описана одним методом, поскольку он, как правило, не использует все характеристики объекта прогнозирования, заложенные в информационном массиве. Этот этап позволяет исключить или уменьшить ошибку прогноза, обнаружить или уточнить характер взаимосвязей элементов объекта и переменных прогнозирования и вносить коррективы в прогнозную модель, повышая обоснованность, достоверность и точность.

Поскольку прогноз в большинстве случаев представляет цепь из нескольких прогнозов (рис. 2. 3), то на пятом этапе предусматривается окончательное их согласование, разработка нормативов, оформление системного прогноза, составление инструкции для использования по назначению.

2. 4. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ, ЛЕЖАЩИЕ В ОСНОВЕ РАЗРАБОТКИ ПРОГНОЗОВ, КРИТЕРИИ ВЫБОРА МЕТОДА

Наиболее полная классификация методов прогнозирования с

позиций их применимости при решении задач ремонтного производства дана в источниках [239, 241]. Однако поскольку основные отличия классов носят “информационный и процедурный характер” [239], ее использование вызывает некоторые затруднения. В частности, при разделении методов на три класса по принципу получения прогнозной информации для интер и экстраполяционных методов указан следующий отличительный признак: “перенос (распространение) на будущее установленных закономерностей развития объекта и взаимосвязей между его параметрами”. Но этот признак характерен в не меньшей степени и для структурно-аналитических, и для экспертных методов. Отсутствие четких критериев имеет место и на втором уровне классификации, где за отличительный признак принят феномен, используемый в качестве теоретической основы метода. “Под феноменом понимается фактор, определяющий прогностическую способность метода” [239]. Один из классов - ситуационный анализ имеет признак: “множество исходов развития (поведения) объектов в зависимости от ситуации” [138]. Однако в ремонте все процессы имеют “множество исходов. . .”, но далеко не для всех следует использовать этот феномен в качестве теоретической основы метода прогнозирования. Это же относится и к остальным десяти методам второго уровня классификации, которая по существу является классификацией путей, способов и приемов исследования объекта прогнозирования, его структуры, свойств, развития и др. Она направлена на выяснение прошлого и объяснение настоящего, и в этом заключается ее достоинство, но она не дает прямого указания на метод, который следует взять за основу при разработке конкретного прогноза.

В официальной терминологии [221] отсутствует термин “классификация”, а разделение методов прогнозирования дано как “аппа-

рат прогнозирования”, включающий фактографические, экспертные и верификационные методы, потому что единую классификацию разработать невозможно, если формулировать термин “метод прогнозирования” как “способ исследования объекта прогнозирования, направленный на разработку прогноза” [221].

Если понимать под методом прогнозирования способ вынесения научно обоснованного суждения о вероятных состояниях объекта в будущем и (или) об альтернативных путях и сроках их достижения, то единая классификация, фактически действующая в ремонте и эксплуатации автомобилей, возможна, так как в этом случае она получает основу которой являются фундаментальные законы естественных и прикладных наук.

“Прогноз - это вероятностное суждение о состоянии какого-либо объекта (процесса или явления) в определенный момент времени в будущем и (или) альтернативных путях достижения каких-либо результатов” [241]. Приведенная формулировка - одна из самых кратких, но доходчивых и содержательных, в частности, раскрывающих, что в основе понятия лежат объект прогнозирования и вероятность.

Важнейшей предпосылкой определения возможных будущих состояний и направлений развития является изучение объекта (процесса, явления) как системы: должны быть уяснены “его назначение (цель) или способ действия” [217], происхождение, структура, сложность, способ управления, тип входных, выходных и внутренних переменных, а также связи между ними.

Вероятности же получают непосредственным подсчетом, их оценки находят в результате эксперимента, наблюдения или анализа многочисленных источников фактографической информации, либо эвристическим или экспертным путем. Для вынесения суждения о

будущем важно знать вероятность, отвечающую требуемой достоверности, а выбор источников - второстепенная, техническая сторона процесса разработки прогноза.

В зависимости от характера и объема априорной информации об объекте и его свойствах для разработки прогноза используется метод, основывающийся на фундаментальных вероятностных закономерностях. Основные из них, находящие применение в теории и практике ремонта машин приведены ниже.

1. Закон больших чисел.

Теорема П. Л. Чебышева. При достаточно большом числе независимых опытов среднее арифметическое наблюдаемых значений случайной величины сходится по вероятности к ее математическому ожиданию [65]:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} P\left(\left|\frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} - M(X)\right| < \varepsilon\right) = 1 \quad (2.1).$$

Суть, заложенная в теореме и имеющая прикладное значение, в том, что “среднее арифметическое достаточно большого числа независимых случайных величин (дисперсии которых равномерно ограничены) утрачивает характер случайной величины” [80]. При выполнении условия

$\frac{D\left[\sum_{i=1}^n X_i\right]}{n^2} \rightarrow 0$ (теорема Маркова) закон больших чисел распространяется и на зависимые величины [65].

Записав (2. 1) в виде

$$P\left(\left|\bar{X} - M(X)\right| \geq \varepsilon\right) \leq \frac{D(X)}{n\varepsilon^2} \quad (2.2)$$

и положив, что

$$\frac{D(X)}{n\varepsilon^2} = 1 - P_{\partial}, \quad (2.3)$$

где n - число наблюдаемых значений величины X ; ε - допустимое отклонение прогнозируемой величины от среднего значения (ошибка метода прогнозирования); P_{∂} - доверительная вероятность.

Значения n при заданной доверительной вероятности P_D в зависимости от величины соотношения

$$n \geq \frac{D(X)}{\varepsilon^2(1 - P_D)}. \quad (2.4)$$

На рис. 2.5 представлена схема прогнозирования параметра на основе устойчивости средних значений в зависимости от наработки t при условии выполнения неравенства (2.4).

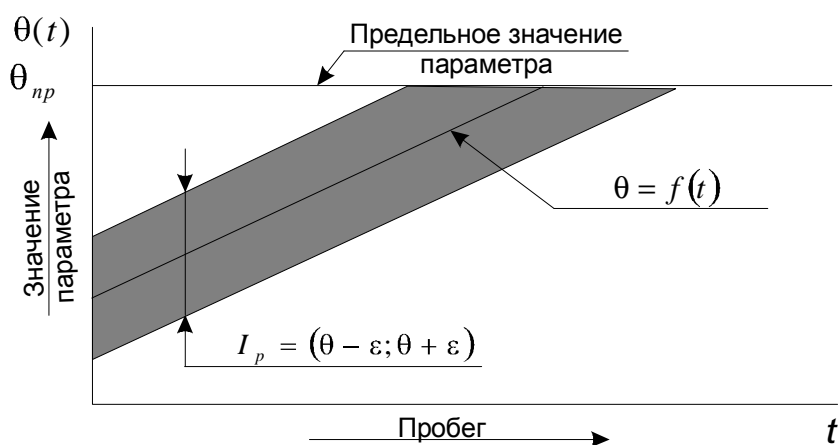


Рис.2.5. Схема прогнозирования параметра θ на основе устойчивости средних значений.

Изменчивость величины q в интервале I_p обусловлена суммарным результатом многократного воздействия случайных факторов. Минимальное число повторных воздействий n может быть оценено с помощью графиков, представленных на рис. 2.6.

По оси абсцисс отложены значения величины отношения дисперсии прогнозируемой ошибки механизма к квадрату допустимой погрешности ее определения, по оси ординат – минимальное число повторных воздействий.

Например, при $D(q) / e^2 = 8$ число повторных воздействий $n = 40$ для случая, когда значение доверительной вероятности $P_D = 0,8$.

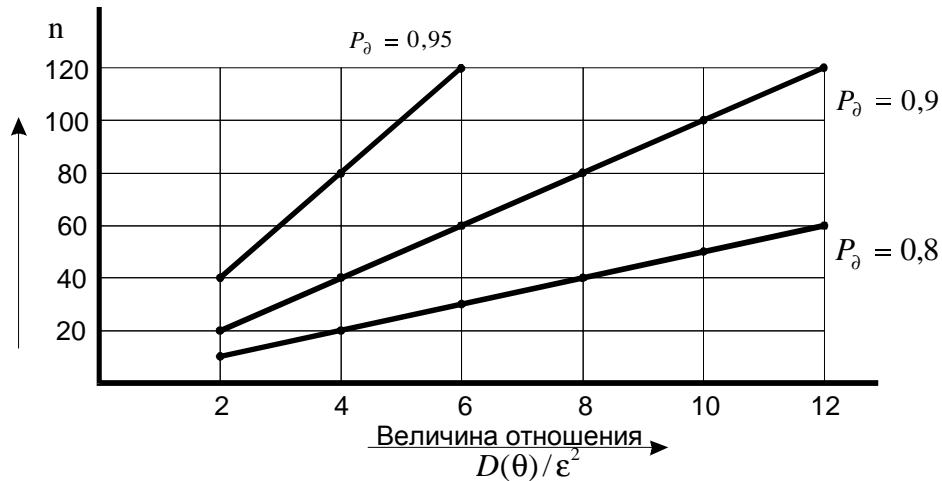


Рис.2.6. Графики $n = f(D(\theta)/\varepsilon^2)$ при различных уровнях доверительной вероятности.

Метод, в основе которого лежит устойчивость средних значений, применяется в случае выполнения условия (2.4) при прогнозировании многих объектов:

- пробегов автомобилей и агрегатов в стабильных условиях эксплуатации при постепенных отказах;
- величин ошибок механизмов в пределах запаса точности при достаточно большом числе циклов, стационарном режиме нагружения и однородных условиях эксплуатации;
- годовых программ ремонтных предприятий, цехов и участков.

Теорема Я. Бернулли. *При неограниченном увеличении числа опытов n частота события A сходится по вероятности к его вероятности p* [65]

$$P\left(\left|\frac{\mu}{n} - p\right| < \varepsilon\right) > 1 - \delta, \quad (2.5)$$

где μ - частота появления события A при числе опытов n ; ε, δ - сколь угодно малые положительные числа.

Положив в (2.5), что правая часть неравенства представляет доверительную вероятность P_δ , находят соответствующие довери

тельные пределы для неизвестной вероятности P (либо при заданном доверительном интервале определяют необходимое число опытов). Нижний π и верхний Π доверительные пределы находят, решая уравнения [51]

$$I_{\pi}(\mu, n - \mu + 1) = 1 - P, \quad (2.6)$$

$$I_{\Pi}(\mu + 1, n - \mu) = P, \quad (2.7)$$

где $I_x(a, b)$ - функция B -распределения, $P = (P_{\partial} + 1)/2$

На рис. 2.7 приведены график и таблица, иллюстрирующие изменение величин доверительных интервалов в зависимости от чисел испытаний n при $P_{\partial} = 0, 9$ для неизвестных вероятностей, заменяемых относительными частотами.

Метод, базирующийся на основе устойчивости относительных частот применяется при выполнении условий (2. 6), (2. 7) для прогнозирования следующих объектов:

- пробегов при постепенных отказах и величин ошибок механизмов при фиксируемых изменениях режимов нагрузений и условий эксплуатации;
- количества годных, требующих восстановления и утильных деталей;
- внезапных отказов и других процессов, описываемых марковскими цепями.

Кроме того этот метод используется в сочетании с методом устойчивых средних значений (рис. 2. 8). Здесь ошибки механизмов, работающих при разных режимах нагружения, прогнозируются с допустимой ошибкой по линейным функциям. Оценки вероятностей режимов нагружения определяются статистическим путем. Метод также позволяет моделировать реализации случайного процесса изменения ошибки механизма в зависимости от наработки при известных оценках вероятностей величин нагружений (рис.2.9).

2. Центральная предельная теорема. Если X_1, X_2, \dots, X_n независимые случайные величины, имеющие один и тот же закон распределения с математическими ожиданиями m и дисперсией S^2 , то при неограниченном увеличении n закон распределения суммы

$$Y_n = \sum_{K=1}^n X_K \quad (2.8)$$

неограниченно приближается к нормальному [65].

Независимость слагаемых

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \prod_{K=1}^n f(x_K) \quad (2.9)$$

является необходимым условием центральной предельной теоремы. Для эффективного прогнозирования на основе предельных законов распределения необходимо выполнение условий

$$M(X_K) = const; \quad D(X_K) \cong D(X_{K+1}); \quad (2.10)$$

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^q \frac{(\mu_i - np_i)^2}{np_i} \leq \chi^2(c, \alpha), \quad (2.11)$$

где c^2 - значение статистики хи-квадрат; m_i - число попаданий случайной величины в i -й разряд; c - число степеней свободы распределения; α - уровень значимости; q - число разрядов, np_i - теоретическое число попаданий случайной величины в i -й разряд.

Условия (2. 10) предполагают стабильность, отсутствие дрейфа слагаемых и исключают воздействие на объект прогнозирования доминирующего фактора. При выполнении условия (2. 11) гипотеза о предполагаемом законе распределения не отвергается. Закон распределения суммы (2. 8) быстро приближается к нормальному. Практически достаточно 4 - 5 слагаемых, чтобы считать его нормальным с большой доверительной вероятностью [47].

Предельными являются также показательный закон и закон Пуассона, применяемые в теории надежности и в теории массового об

служивания (первый - в качестве распределения времени между соседними событиями, второй - в качестве распределения числа событий за время t). В соответствии с теоремой А. Я. Хинчина “суммарный поток при дополнительном ограничении арифметического характера, гарантирующем ординарность суммарного потока, оказывается близким к простейшему” [81]. Практически достаточно сложить 4 - 5 случайных потоков, чтобы получить простейший [82]. В работе [82] даны применяющиеся в теории надежности предельные законы: логарифмически нормальный, Вейбулла и др.

Широко используемые в теории и практике ремонта распределения величин износа и размеров изношенных деталей, описываемые законом модуля разности и его композицией с нормальным законом [99], также являются предельными.

Найдя по выборкам небольшого объема числовые характеристики, строят простые, приемлемые для практики модели прогнозирования объектов, включая динамические (как стационарные, так и нестационарные) на основе теории случайных процессов.

На рис. 2. 10 представлена иллюстрация нормального закона на плоскости, позволяющего определить остаточный ресурс коробок передач автомобиля ЗИЛ-130.

Особое место среди предельных законов теории вероятностей занимают устойчивые и безгранично делимые распределения.

Для устойчивых законов имеет место равенство [83, 127]

$$F(a_1x + b_1) * F(a_2x + b_2) = F(ax + b), \quad (2.12)$$

где $a > 0$, b - некие постоянные; F - функция распределения; *- символ операции свертки двух функций распределения.

Устойчивость законов дает возможность, опираясь на теоремы о числовых характеристиках случайных величин, образующих систе-

му, находить условные законы частных систем [65] как апостериорные распределения объекта прогнозирования.

Безгранично делимое распределение - это распределение вероятностей, которое при любом $n = 2, 3, \dots, m$ может быть представлено как композиция (свертка) n одинаковых распределений вероятностей [83].

Такие законы позволяют осуществлять каноническое разложение случайных функций [222] с целью уменьшения апостериорной дисперсии прогноза при заранее известном законе распределения составляющих.

Устойчивым и безгранично делимым является нормальный закон, лежащий в основе расчета коэффициентов множественных регрессионных и корреляционных уравнений, на базе которых разрабатывают интер- и экстраполяционные модели.

Метод прогнозирования на основе предельных, а также устойчивых и безгранично делимых законов распределения в сочетании с методами, базирующимися на устойчивости средних значений и относительных частот, позволяет разрабатывать прогнозные модели при выполнении условий (2.4), (2.5), (2.6), (2.7), (2.9), (2.10), (2.11), (2.12) для многочисленных объектов ремонтного производства при решении следующих задач:

- проектирование ремонтных предприятий;
- внедрение технологических процессов ремонта автомобилей;
- организация труда на производственных участках;
- аттестация качества изделий после ремонта;
- оценка эффективности мероприятий по повышению уровня ремонта автомобилей.

3. Законы распределения функций случайных аргументов.

Если случайная величина Y связана со случайной величиной X , имеющей плотность распределения $f(x)$, зависимостью $Y=j(X)$, то плотность распределения Y выражается формулой [65]

$$g(y) = f(\psi(y)|\psi'(y)|). \quad (2.13)$$

Если система случайных величин подчинена закону распределения с плотностью $f(x,y)$, а величина Z есть произведение $Z=XY$, то плотность распределения выражается формулой [65]

$$g(x) = - \int_{-\infty}^0 \frac{1}{x} f\left(x, \frac{z}{x}\right) dx + \int_0^{\infty} \frac{1}{x} f\left(x, \frac{z}{x}\right) dx. \quad (2.14)$$

Теория вероятностей дает много методов, 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 регрессионных зависимостей) предопределяет успешный поиск законов распределения прогнозируемых объектов.

Если функции плотностей вероятностей составляющих неизвестны, то их выбирают, исходя из принципа максимальной энтропии [217].

При нестабильности составляющих, вызванной дрейфом, наличием доминирующих факторов и др., а также при случайном характере связей между ними и объектом прогнозирования строят мгновенный закон распределения, используя известные правила [24].

Правила вычисления вероятностей для законов распределения прогнозируемых величин базируются на численных методах, удобных при формировании машинных программ, они позволяют учитывать в прогнозной модели воздействия любого числа факторов.

МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В РЕМОНТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Метод устойчивых
средних значений

Метод устойчивых
относительных частот

Метод устойчивых за-
конов распределения

Метод мгновенных
законов распределе-
ния

ЗАКОНОМЕРНОСТИ

Закон больших чисел.
Теорема
П.Л. Чебышева

Закон больших чисел.
Теорема
Я. Бернулли

Центральная пре-
дельная теорема.
Теорема
А.Я. Хинчина

Законы распределе-
ния функций слу-
чайных аргументов

$$P \left(\left| \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} - M(X) \right| \geq \varepsilon \right) \leq \delta$$

$$P(|p^* - p| < \varepsilon) > 1 - \delta$$

$$Y_n = \sum_{K=1}^n X_K; Z_n = \frac{Y_n}{\sigma \cdot \sqrt{n}}$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} g_{Z_n}(t) = \exp(-t^2/2)$$

$$Y = \varphi(x); g(y) = f(\psi(y)|\psi'(y)|)$$

$$Z = \varphi(x, y); G(z) = P((x, y) \in D) =$$

$$= \iint_D f(x, y) dx dy$$

Рис. 2.11. Классификация методов прогнозирования на основе фундаментальных законов теории вероятностей

2.5. АЛГОРИТМ ВЫБОРА МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Прогноз может быть обоснованным, максимально достоверным и точным только в случае, когда в его основе лежат объективные законы фундаментальных наук, минимизирующие влияние как субъекта прогнозирования, так и потребителя прогноза. При таких обстоятельствах ложный прогноз всегда очевиден, а непреднамеренная случайная ошибка легко выявляется.

Классификация методов прогнозирования объектов ремонта, базирующаяся на объективных закономерностях, является последовательной, с полным охватом всех объектов и единым признаком, исключающим пересечение классов, а также оптимальным соотношением характеристик возможных значений объекта и допустимой ошибки метода.

Из всей совокупности объектов прогнозирования при наличии соответствующих постоянно пополняющихся массивов информации в зависимости от соотношения вариации возможных значений объекта и допустимой ошибки выделяются объекты с устойчивыми средними значениями. Из оставшихся выделяют объекты, которые могут быть разделены на группы в соответствии с величинами относительных частот с целью применения метода устойчивых средних для каждой из групп. Из оставшихся выделяют объекты прогнозирования с предельными, устойчивыми и безгранично делимыми распределениями, которые при большой вариации позволяют в пределах допустимой погрешности определить будущие состояния объектов. И, наконец, остальные - это объекты с неустойчивыми при заданном уровне доверительной вероятности распределениями. Для них строят мгновенные законы распределения, характеризующие объекты про-

гнозирования в конкретных условиях. Вероятности этих условий могут быть найдены с помощью перечисленных выше методов.

Таким образом, при налаженной работе службы прогнозирования объекты также могут быть разделены на классы в соответствии с классификационным признаком методов прогнозирования.

При выборе метода прогнозирования (рис. 2. 11) для конкретного объекта последовательно оценивают имеющуюся информацию:

- если она удовлетворяет критерию (2. 4), то останавливаются на методе устойчивых средних значений;

- если нет, то оценивают информацию с позиций неравенства (2. 5) и уравнений (2. 6), (2. 7), 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 (2. 8), (2. 9), (2. 10), выявляя и оценивая значимость составляющих с помощью статистических критериев и соответствие характеристик объекта одному из гипотетических распределений посредством критерия согласия (2. 11) на предмет использования метода предельных 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, базирующийся на основе законов распределения функций случайных аргументов в сочетании с предыдущими методами.

На рис 2. 12 приведена блок-схема выбора метода прогнозирования в зависимости от количества и качества информации об объекте.

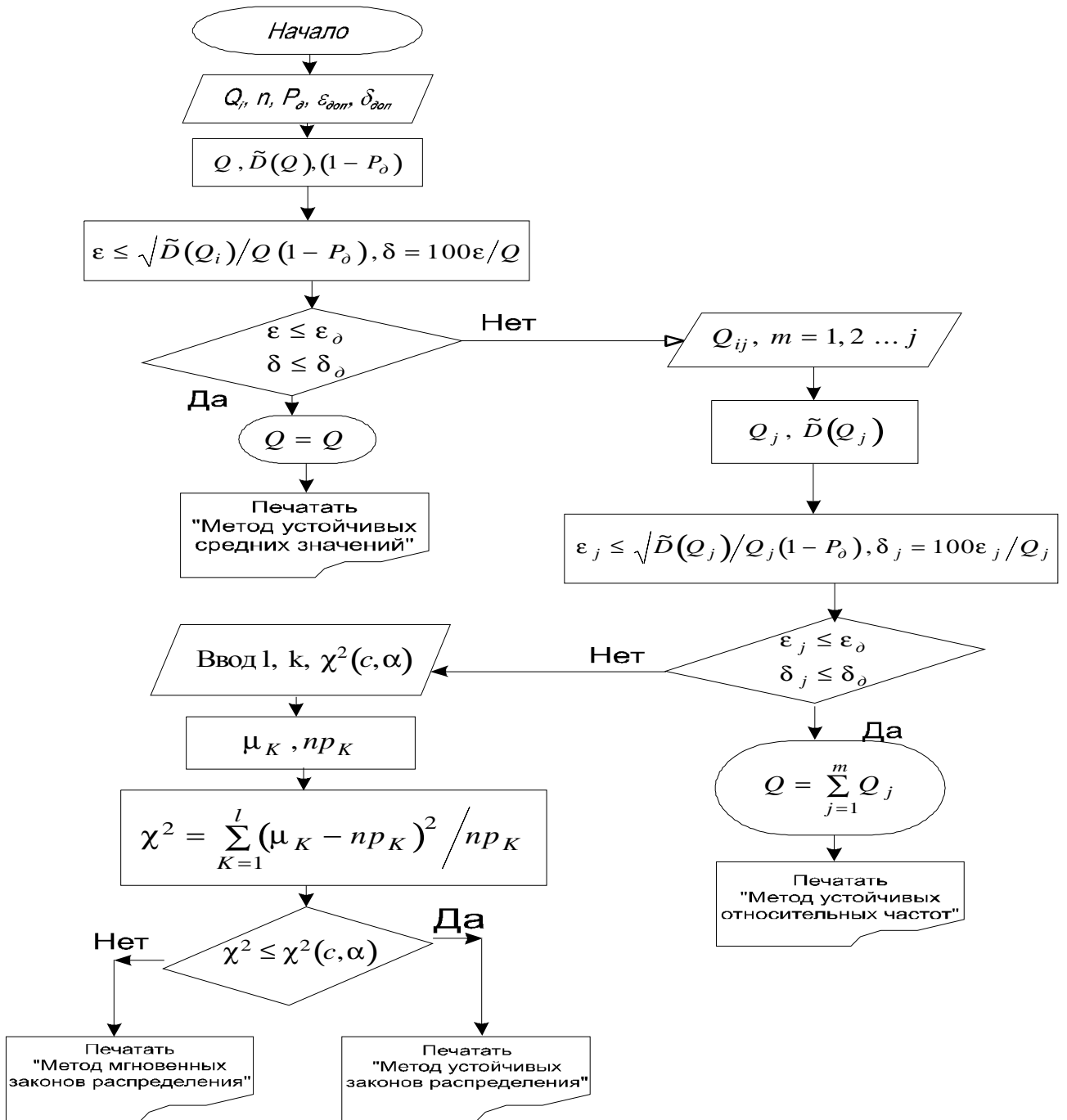


Рис. 2.12. Блок-схема выбора метода прогнозирования потребности в ремонтах агрегатов и автомобилей в зависимости от количества и качества априорной информации.

2. 6. ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

1. Эффективным средством поддержания работоспособности автомобильного парка северного региона является ненагруженное эксплуатационное резервирование, предусматривающее создание избыточности за счет заранее подготовленных ремонтных комплектов, которые используются для замены отказавших составных частей автомобиля: агрегатов, узлов, сопряжений, деталей. Выбор стратегии производится на основе диагностирования, а в качестве критерия принимается продолжительность простоя автомобиля в ремонте

2. Функционирование комплексной системы управления качеством ремонта определяется точностью и достоверностью совокупности прогнозов, образующих подсистему прогнозирования эффективности внедрения технологий и организационных форм, технических условий на проведение техпроцессов и норм точности, а также установления обоснованных цен на выпускаемые изделия. Это позволяет решить технические и экономические проблемы развития и совершенствования ремонтного производства на основе повышения качества ремонта.

3. Система прогнозирования качества ремонта автомобилей представляет собой цепь взаимосвязанных прогнозов, в которой результаты предшествующего поискового прогноза являются нормативными показателями для разработки поискового прогноза следующей подсистемы. Последовательность разработки конкретного прогноза включает несколько этапов, содержанием которых является цепь логических взаимно связанных действий от анализа проблемы и выявления объекта прогнозирования до верификации, формирования системного прогноза и составления инструкции для потребителя.

4. Предложенная классификация методов прогнозирования объектов ремонта основана на фундаментальных законах теории вероятностей. Она включает методы прогнозирования на основе устойчивых средних значений, устойчивых относительных частот, устойчивых законов распределения, а также метод мгновенных распределений. Выбор метода прогнозирования осуществляется с помощью критериев, согласующих доверительную вероятность, количество и качество информации и требуемую точность прогноза. Классификация последовательная, с единым признаком, исключающим пересечение классов, она охватывает все объекты, проста и алгоритмизируема.

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