

ГЛАВА 3. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В РЕМОНТАХ АГРЕГАТОВ И АВТОМОБИЛЕЙ НА ОСНОВЕ УСТОЙЧИВОСТИ СРЕДНИХ ЗНАЧЕНИЙ И ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ЧАСТОТ

3.1. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В РЕМОНТАХ АВТОМОБИЛЕЙ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ В СЕВЕРНОМ РЕГИОНЕ

Нормативные значения ресурса автомобилей и агрегатов до капитального ремонта, установленные на основе информации, полученной в результате испытаний и наблюдений при работе в определенном эксплуатационном режиме [287], в случае применения автотранспортными предприятиями для планирования деятельности ремонтных служб корректируются с помощью коэффициентов, учитывающих отличие реальных условий эксплуатации от эталонных.

Однако при этом не учитывается, что процесс исчерпания ресурса каждого автомобиля или их совокупности состоит из отдельных частей пробега в существенно отличающихся между собой местных условиях. Большое разнообразие и широкая вариация ускоряющих накопление повреждений факторов, имеющих место в отдаленных осваиваемых районах севера, предполагает при прогнозировании пробега автомобилей до предельного состояния, определяющего потребность в капитальных ремонтах, использование для некоторых коэффициентов распределений вероятностей как исчерпывающих характеристик случайных величин.

К основным факторам, влияющим на эксплуатационную надежность, относится тип и качество дорожного покрытия, рельеф местности, условия движения (в большом городе, в пригородной зоне, за городом), характеризующиеся пятью категориями эксплуатации, кото-

рым соответствуют значения коэффициента K_1 от 1, 0 для первой до 0, 6 для пятой.

Модификация автомобиля и варианты организации работы подвижного состава (количество прицепов, длина грузовой езды и др.) 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, получены оценки вероятностей для рядов распределений указанных коэффициентов (кроме K_2), приведенных в табл. 3. 1. (приложение 1).

Таблица 3.1

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	-	-
$\tilde{m}_1 = 0,74;$ $\tilde{D}_1 = 0,0044$		$\tilde{m}_3 = 0,775;$ $\tilde{D}_3 = 0,0169$		$\tilde{m}_4 = 0,9;$ $\tilde{D}_4 = 0,006$		$\tilde{m}_5 = 0,9;$ $\tilde{D}_5 = 0,002$		$\tilde{m}_6 = 0,925;$ $\tilde{D}_6 = 0,0101$		$\tilde{m}_7 = 0,64;$ $\tilde{D}_7 = 0,015$	

Из ее первых двух 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_i достаточно устойчивы, но могут без больших трудозатрат 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 \tilde{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. Значение $K_4 = 1,0$ соответствует новым автомобилям, $K_4 = 0,9$ - автомобилям и 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, работающим в полевых условиях, когда обслуживание осуществляется в эпизодически появляющиеся промежутки времени с помощью ручных приспособ-

лений и принадлежностей. 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 \tilde{m}_5 коэффициента K_5 . Квалификация водителя как степень подготовленности к эффективному выполнению обязанностей находит отражение в вероятности безотказной работы водителя $P(t)$ [41]

$$P(t) = P(t_1)P(t_2)P(t_3),$$

где $P(t_1)$ - вероятность безотказной работы водителя по психофизиологическим показателям, включая травматизм, эпидемические и хронические заболевания;

$P(t_2)$ - то же, по признакам профессиональной подготовки: выполнение плана перевозок, безаварийность, безошибочность действий в сложных ситуациях;

$P(t_3)$ - то же, по признакам социального поведения: прогулам, опозданиям, отстранениям от работы наркологом.

Приняв в качестве коэффициента K_6 численные значения вероятностей безотказной работы водителей $P(t)$, находят распределение $P(K_6)$ с оценками вероятностей, вычисленными по выборке достаточно большого объема (столбцы 9 и 10 табл. 3. 1).

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.

Коэффициенты K_i не коррелированы и независимы, хотя в автотранспортных предприятиях для некоторых групп водителей создаются предпосылки, обуславливающие значимость коэффициентов корреляции: лучшие из них получают новые машины, работают в лучших условиях эксплуатации, перевозок, проведения технических обслуживаний и ремонтов. Однако это не меняет сути и последовательности расчетов.

Находя для каждой модели ряд распределения случайной величины K_i , формирующейся как произведение коэффициентов K_i , умножают ее на величину нормативного ресурса, получая прогнозную оценку в виде $P(L)$ - ряда распределения ресурса автомобилей, эксплуатирующихся в регионе.

Умножая число автомобилей, имеющихся в парке, на нормативный годовой пробег и на произведение коэффициентов, влияющих на его величину, получают ряд распределения суммарного годового пробега автомобилей рассматриваемой модели. Деля его на $P(L)$, получают ряд распределения числа автомобилей, достигающих предельного состояния в течение года.

Планируемое число капитальных ремонтов автомобилей в течение года

$$Q = L_{HG} \cdot N \cdot \prod_{i=1}^n K_i / L_H \cdot \prod_{i=1}^n K_i, \quad (3.1)$$

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

Из формулы (3. 1) следует, что числитель и знаменатель коррелированы, если они имеют хотя бы один общий из коэффициентов K_i . В этом случае их сокращают, так как на конечный результат они влияния не окажут. При необходимости находят условные законы распределения числа машин, достигающих предельного состояния в течение года в конкретных условиях эксплуатации.

Ниже приводится порядок построения прогнозных моделей – рядов распределения вероятностей пробега до исчерпания ресурса, годового пробега и потребности в капитальных ремонтах автомобилей КрАЗ-6510.

Парк автомобилей данной модели в Норильском промышленном районе составляет $N = 500$ единиц. Эталонный нормативный ресурс автомобиля КрАЗ-6510 составляет $L_n=300$ тыс.км [287], нормативный годовой пробег $L_{нг}= 70$ тыс.км. Коэффициент K_2 принимается равным единице, так как в рассматриваемом случае его постоянная величина учитывалась при расчете коэффициентов, корректирующих ресурс L_n .

Вначале формируется распределение $P(K_1, K_6)$ (табл.3.2). Перемножая значения K_1 и K_6 , получают случайную величину $K_{16}=K_1K_6$. Записав для каждого значения K_{16} соответствующие вероятности, получают ряд распределения $P(K_{16})$ (табл.3.3).

Таблица 3.2

Распределение системы случайных величин $P(K_1, K_6)$

K_1		0,6	0,7	0,8
K_6	P	0,1	0,4	0,5
0,7	0,1	0,01	0,04	0,05
0,85	0,3	0,03	0,12	0,15
1,0	0,6	0,06	0,24	0,30

Таблица 3.3

Ряд распределения $P(K_{16})$

K_{16}	0,42	0,49	0,51	0,56	0,595	0,60	0,68	0,70	0,80
P	0,01	0,04	0,03	0,05	0,12	0,06	0,15	0,24	0,30

Умножив K_{16} на K_4 , а результат на $\tilde{m}_3 = 0,775; \tilde{m}_4 = 0,9; L_n = 300$ тыс.км, получают ряд распределения $P(L)$, представленный в табл.3.4. Оценки параметров распределения $P(L)$: математического ожидания $\tilde{m}(L) = 128,9$ тыс.км, дисперсии $\tilde{D}(L) = 457,6$ (тыс.км)².

Таблица 3.4

Пробег автомобилей КраЗ-6510 до исчерпания ресурса и соответствующие вероятности в зависимости от сочетания неблагоприятных факторов

L , тыс.км	P	L , тыс.км	P	L , тыс.км	P
70,3	0,003	79,1	0,004	87,9	0,003
82,0	0,012	92,3	0,016	102,5	0,012
93,7	0,015	105,5	0,020	117,2	0,015
85,4	0,009	96,0	0,012	106,7	0,009
99,6	0,036	112,1	0,048	124,5	0,036
113,8	0,045	128,1	0,060	142,5	0,045
100,4	0,018	113,0	0,024	125,6	0,018
117,2	0,072	131,8	0,096	146,5	0,072
133,9	0,090	150,7	0,120	167,4	0,090

Умножая $P(K_7)$ на $L_{н2}=70$ тыс.км и на $N = 500$ ед., находят ряд распределения $P(L_c)$ (табл.3.5) .

Таблица 3.5

Ряд распределения годового пробега парка автомобилей КраЗ-6510

L , тыс. км	21000	35000
P	0,9	0,1

Планируемое число капитальных ремонтов Q (табл. 3.6) вычисляется в соответствии с формулой (3.1), делением значений L_2 (табл. 3.5) на значения L (табл. 3.4).

Таблица 3.6

Возможные значения потребности в капитальных ремонтах автомобилей КраЗ-6510 и соответствующие им вероятности

Q , ед.	P	Q , ед.	P	Q , ед.	P	Q , ед.	P
299	0,0027	179	0,0648	164	0,0540	197	0,0081
498	0,0003	299	0,0072	273	0,0060	328	0,0009
256	0,0108	157	0,0810	186	0,0216	169	0,0324
427	0,0012	261	0,0090	310	0,0024	281	0,0036
224	0,0135	265	0,0036	159	0,0864	147	0,0405
374	0,0015	442	0,0004	266	0,0096	246	0,0045
246	0,0081	228	0,0144	139	0,1080	167	0,0162
410	0,0009	379	0,0016	232	0,0120	279	0,0018
211	0,0324	199	0,0180	239	0,0027	143	0,0648
351	0,0036	332	0,0020	398	0,0003	239	0,0072
185	0,0405	219	0,0108	205	0,0108	125	0,0810
308	0,0045	365	0,0012	341	0,0012	209	0,0090
209	0,0162	187	0,0432	179	0,0135	-	-
349	0,0018	312	0,0048	299	0,0015	-	-

Оценки параметров распределения $P(Q)$: математического ожидания $\tilde{m}(Q) = 179$ ед., дисперсии $\tilde{D}(Q) = 2169$ кв.ед.

Поскольку прогноз - это “научно обоснованное суждение о возможных состояниях объекта в будущем и (или) об альтернативных путях и сроках их достижения” [221], то в данном случае нахождением оценки для закона распределения прогнозируемой величины за-

канчивается процесс прогнозирования, так как найденный ряд распределения устанавливает связь между возможными значениями потребности в ремонтах и их вероятностями.

На этой основе могут быть решены задачи оптимизации годовой программы ремонта, поставок материалов, запасных частей, оборудования и др.

Однако 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, достигающих предельного состояния в течение года. Возможное отклонение полученной оценки от неизвестного истинного значения определяется соотношением, вытекающим из теоремы П. Л. Чебышева:

$$\varepsilon \leq \sqrt{D(Q) / Q(1 - P_0)}.$$

Приняв в качестве годовой программы ремонта $Q = 179$ ед. автомобилей, достигающих предельного состояния в течение года, задавшись величиной доверительной вероятности $P_0 = 0,8$, вычисляют абсолютную ошибку способа прогнозирования, являющуюся одной из составляющих ошибки прогноза, под которой понимается “апостериорная величина отклонения прогноза от действительного состояния объекта” [221].

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

Следовательно, потребность в капитальных ремонтах, равная годовой программе ремонтного предприятия, $Q = 179 \pm 8$ ед. Относительная ошибка способа прогнозирования составляет менее пяти процентов.

Ошибки прогнозов, разрабатываемых для парков автомобилей на основе устойчивости средних значений и относительных частот, по данным наблюдений последних лет не выходят за пределы 15%, что является приемлемым для практики. Увеличение ошибки происходит из-за не учитываемых факторов: аварийных износов и повреждений по причине бездорожья и отклонений величин годовых пробегов от планируемых, вызываемых производственной необходимостью (приложение 1).

3.2 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГОДОВОЙ ПОТРЕБНОСТИ В РЕМОНТАХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ПОПОЛНЕНИЯ ОБОРОТНОГО ФОНДА С ЦЕЛЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ

Автомобили БелАЗ-75485, используемые на перевозке горной массы, эксплуатируются в течение 4-5 лет. По мере достижения агрегатами предельного состояния их заменяют резервными при проведении плановых текущих ремонтов. После 2-3 лет эксплуатации агрегатным методом проводится капитальный ремонт, а при общем пробеге 250 тыс. км. принятом в качестве норматива, автомобиль подлежит списанию.

Стремительное исчерпание ресурса автомобилем объясняется интенсивностью использования (большой частью в три смены) и воздействием совокупности неблагоприятных неуправляемых и трудно управляемых факторов. Они определяются природно-климатическими и дорожными условиями: низкой температурой в течение трех четвертей года, метелями, снегопадами, туманами, гористым рельефом местности и связанными со спецификой уст-

ройства карьеров сверхнормативными уклонами, малыми радиусами поворотов при большом их числе, отсутствием твердого покрытия и др. [287].

Одной из задач по поддержанию работоспособности является определение годовой потребности в ремонтах агрегатов для пополнения оборотного фонда, расходуемого при текущих и капитальных ремонтах автомобилей.

Проведенные в течение шести последних лет на Норильском горно-металлургическом комбинате исследования позволили получить оценки числовых характеристик случайных величин: математических ожиданий $\tilde{m}(L_i)$ и дисперсий $\tilde{D}(L_i)$ пробегов до предельного состояния агрегатов БелАЗ-75485 (табл. 3.7). Здесь из совокупности наблюдений обработаны те опыты, которые проводились с новыми, не прошедшими капитальный ремонт автомобилями, осуществляющими перевозку руды на обогатительную фабрику из карьера "Медвежий ручей" и от железнодорожного терминала "Нулевой пикет". Перевозки осуществлялись наиболее квалифицированными и надежными водителями при постоянном контроле за соответствием установленным требованиям фактического состояния дорожных условий и условий перевозок (приложение 2).

Таблица 3. 7

Оценки числовых характеристик пробегов агрегатов до предельного состояния (в числителе - пробег нового, в знаменателе - капитально отремонтированного агрегата)

№№ п/п	Наименование агрегата	$\tilde{m}(L_i)$ тыс. км.	$\tilde{D}(L_i)$ (тыс. км.) ²	Объём выборки
1	Двигатель	95/78	310/199	84/136
2	Гидромеханическая передача	63/54	154/306	84/136
3	Передний мост	77/65	117/122	84/136
4	Задний мост	83/74	147/155	84/136

Многokратное постоянное воспроизведение событий: исчерпание ресурса агрегатами и автомобилями и их ремонт при достаточно большом сбалансированном в отношении возрастной структуры парке, стабильном качестве ремонта и не изменяющихся эксплуатационных условиях - позволяют оценки математических ожиданий $\tilde{m}(L_i)$, приведенные в табл. 3.7, принять в качестве нормативных показателей пробегов агрегатов БелАЗ-75485. Указанные оценки найдены в однородных контролируемых условиях, соответствующих рекомендациям завода изготовителя. Возможное отклонение оценки от неизвестного математического ожидания определяется соотношением, вытекающим из теоремы П. Л. Чебышева:

$$\varepsilon \leq \sqrt{\tilde{D}(L_i)/n(1 - P_\delta)}, \quad (3.2)$$

где ε - величина отклонения среднего значения от математического ожидания пробега агрегата до предельного состояния; $\tilde{D}(L_i)$ - оценка дисперсии пробега; n - объем выборки; P_δ - доверительная вероятность.

Для новых двигателей при $\tilde{D}(L_i)=310$ (тыс. км)², $n=84$, $P_\delta=0.8$ величина абсолютной ошибки $\varepsilon \leq \sqrt{310/84 \cdot (1 - 0,8)} = 4,3$ тыс. км.

Следовательно, пробег, принятый в качестве норматива составляет 95 ± 4.3 тыс. км. при относительной ошибке менее 5%. Для остальных агрегатов как новых, так и капитально отремонтированных она еще меньше.

Приведенные в табл. 3.7 показатели получены для наиболее благоприятных эксплуатационных условий, они существенно снижаются при ухудшении состояния дорог, старении машин, снижении надежности водителей [287], учитываемых коэффициентами K_1, K_4, K_6 , являющимися случайными величинами. В табл. 3.8 приведены значения указанных коэффициентов и соответствующие им оценки вероятностей, а также значения K_7 , корректирую-

щего величину годового пробега из-за неуккомплектованности автомобилей экипажами, вычисленные по данным наблюдений за автомобилями, используемыми на перевозке руды, а также на вскрышных и вспомогательных работах.

Таблица 3.8

Ряды распределения вероятностей значений коэффициентов $P(K_i)$,
учитывающих изменение ресурса автомобилей БелАЗ -75485

K_1	P_1	K_4	P_4	K_6	P_6	K_7	P_7
1	2	3	4	5	6	7	8
0.85	0.3	0.84	0.6	0.82	0.2	0.75	0.2
1.0	0.7	1.0	0.4	1.0	0.8	1.0	0.8

Из первых двух столбцов табл. 3.8 следует, что при регулярном восстановлении повреждений и возмещении износа покрытия (преимущественно щебеночного) пробег агрегатов и автомобилей до предельного состояния равен нормативу и 70% общего пробега приходится на такие маршруты. 30% пробега осуществляется по маршрутам с покрытиями, имеющими дефекты, предупреждение и устранение которых происходит либо эпизодически, либо только при проведении средних и капитальных ремонтах дорог. Пробег при этом снижается на 15%. Такое положение имеет место при выполнении вспомогательных и вскрышных работ. Оценки вероятностей P_1 достаточно устойчивы, но могут быть скорректированы в соответствии с эффективностью и уровнем ремонта и содержания дорог.

Оценки вероятностей P_4 характеризуют вариацию потенциалов работоспособности автомобилей, прошедших капитальный ремонт и новых, эксплуатируемых в течение первых 2-3 лет, и агрегатов полученных с завода-изготовителя в качестве запасных частей, прошедших один капитальный ремонт, а также входящих в комплект нового автомобиля и агрегатов после первого и последующих ремонтов. Они также стабильны, поскольку списа-

ние, поступление и ремонт автомобилей и агрегатов сбалансированы, но могут быть и скорректированы при изменении возрастной структуры парка.

Квалификация водителей находит выражение в вероятности безотказной работы $P(t)$ [287], вычисляемой как произведение вероятности безотказной работы по психофизиологическим показателям, включая травматизм, эпидемические и хронические заболевания, вероятности безотказной работы по признакам профессиональной подготовки (безаварийность, безошибочность действия в сложных ситуациях) и социального поведения (опоздания, прогулы, отстранения от работы наркологами). Принятые в качестве коэффициента K_6 значения $P(t)$ и найденные экспериментально соответствующие оценки вероятностей P_6 также являются величинами управляемыми, контролируемыми и прогнозируемыми.

Коэффициент K_7 характеризует вариацию годового пробега L_T автомобилей в зависимости от укомплектованности экипажей, простоев в незапланированных и аварийных ремонтах и др. При трехсменной работе $K_7 = 1.0$, при двухсменной – $K_7 = 0.75$.

Годовая потребность в агрегатах Q_i для замены исчерпавших ресурс

$$Q_i = NK_7L_{НГ} / K_1K_4K_6L_i,$$

где N -число автомобилей в парке; K_1, K_4, K_6, K_7 -корректирующие коэффициенты; $L_{НГ}$ -нормативный годовой пробег автомобиля БелАЗ-75485, равный 60 тыс. км; L_i -средняя величина пробега автомобиля, принятая в качестве норматива, при которой i -й агрегат достигает предельного состояния (табл.3.7). тыс. км.

Поскольку ни зависимости, ни коррелированности между коэффициентами не обнаружилось, ряд распределения их произведения рассчитывается по правилу для независимых величин.

Перемножив значения коэффициентов K_I и K_4 , данные в табл. 3.9, представляющей оценку закона распределения $P(K_I, K_4)$ системы независимых случайных величин, и присвоив их произведениям соответствующие вероятности, получают распределение $P(K_{I4})$ (первые две строки табл. 3.10).

Таблица 3.9

Распределение системы случайных величин $P(K_I, K_4)$

		K_4	0,84	1,0
K_I	P		0,6	0,4
0,85	0,3		0,18	0,12
1,0	0,7		0,42	0,28

Таблица 3.10

Распределение системы $P(K_{I4}, K_6)$

		K_{I4}	0,714	0,84	0,85	1,0
K_6	P		0,18	0,42	0,12	0,28
0,82	0,2		0,036	0,084	0,024	0,056
1,0	0,8		0,144	0,336	0,096	0,224

Перемножив случайные величины K_6 и K_{I4} , получают распределение $P(K_{I46})$. Поскольку Q_i и произведение $K_I K_4 K_6 = K_{I46}$ обратно пропорциональны, то, вычислив отношение $1/K_{I46}$, находят ряд распределения $P(1/K_{I46})$, приведенный в первых двух строках табл. 3.11

Таблица 3. 11

Распределение $P(1/K_{I46}, K_7)$

$1/K_{I46}$		1,71	1,45	1,44	1,4	1,22	1,19	1,18	1,0
K_7	P	0,036	0,084	0,024	0,144	0,056	0,336	0,096	0,224
0,75	0,2	0,007	0,017	0,005	0,029	0,011	0,067	0,019	0,045
1,0	0,8	0,029	0,067	0,019	0,115	0,045	0,269	0,077	0,179

Осуществив операцию умножения случайных величин K_7 и $1/K_{146}$, округлив значения вероятностей и объединив разряды, получают ряд распределения $P(K_4/K_{146})$ (первые две строки табл. 3.12). Вычислив отношения NL_{HG}/L_i для парка $N = 100$ ед. автомобилей БелАЗ-75485 и $L_{HG} = 60$ тыс. км и умножив их на значения K_7/K_{146} , находят потребное число ремонтов для вероятностей, соответствующих каждому возможному сочетанию корректирующих коэффициентов для новых и капитально отремонтированных агрегатов, записывая в табл. 3.12 суммарные значения Q_i с учетом того, что в ремонт приходит 40% новых двигателей и 60% ранее дважды проходивших капитальный ремонт. Например, число ремонтов для новых двигателей для первого разряда табл. 3.12 (соответствующая вероятность $p = 0.045$) равно $0,75 \cdot 100 \cdot 60 / 95 = 47$, для двигателей, ранее дважды прошедших капитальный ремонт эта величина равна $0,75 \cdot 100 \cdot 60 / 78 = 58$, следовательно, для первого разряда табл. 3.12 величина $Q_1 = 0,4 \cdot 47 + 0,6 \cdot 58 = 54$

Таблица 3. 12

Ряд распределения $P(K_7/K_{146})$ и значения Q_i для соответствующих разрядов

K_4/K_{123}	0,75	0,88	1,0	1,18	1,3	1,45	1,71
P	0.045	0.097	0.230	0.391	0.007	0.201	0.029
Q_1 шт.	54	63	71	85	93	104	112
Q_2 шт.	78	93	105	124	135	152	179
Q_3 шт.	64	77	86	102	112	125	147
Q_4 шт.	59	69	78	92	103	113	133

Вторая строка табл. 3.12 с третьей, четвертой, пятой и шестой образует соответственно оценки для законов распределения потребного числа капитальных ремонтов Q_1 двигателей, Q_2 гидромеханических передач, Q_3 передних и Q_4 задних мостов. Оценки числовых характеристик составляют:

$$\tilde{m}(Q_1) = 83 \text{ ед.}, \quad \tilde{D}(Q_1) = 245 \text{ кв. ед.}, \quad \tilde{m}(Q_2) = 122 \text{ ед.}, \quad \tilde{D}(Q_2) = 491 \text{ кв. ед.}, \\ \tilde{m}(Q_3) = 100 \text{ ед.}, \quad \tilde{D}(Q_3) = 347 \text{ кв. ед.}, \quad \tilde{m}(Q_4) = 91 \text{ ед.}, \quad \tilde{D}(Q_4) = 282 \text{ кв. ед.}$$

Принимая в качестве годовой программы ремонта значения оценок математических ожиданий, можно определить ошибку способа прогнозирования, являющуюся одной из составляющих ошибки прогноза. Используя формулу (3.2), подставляют в нее вместо оценки дисперсии пробега $D^*(L_i)$ оценку дисперсии требуемого числа ремонтов $D^*(Q_i)$ и вместо числа агрегатов n число автомобилей в парке $N = 100$. Тогда для гидромеханических передач, например, при доверительной вероятности $P_0=0.8$

$$\varepsilon \leq \sqrt{491/100(1-0,8)} = 5 \text{ ед.}$$

Значит, $Q_2 = 122 \pm 5$ ед. при относительной ошибке способа, меньшей, чем 5%.

Для небольших парков ошибка будет больше. В этом случае, используя оценки законов распределения (табл. 3.12), находят оптимальную величину программы ремонта одним из многих широко известных способов, учитывающих соотношение потерь от хранения резервных агрегатов и потерь от простоя автомобилей при отсутствии резервов. Ошибки прогнозов, разрабатываемых для этой модели автомобиля на основе устойчивости средних значений и относительных частот, не выходят за пределы 10%.

Реализация действенности предлагаемых методов прогнозирования изложена в работах [7, 16, 21, 22, 28,29, 30].

3.3 РАСЧЕТ ГОДОВОЙ ПОТРЕБНОСТИ В РЕМОНТНЫХ КОМПЛЕКТАХ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ В СЕВЕРНОМ РЕГИОНЕ

Интенсивное использование автомобильного парка на севере предполагает поддержание работоспособности на основе ненагру-

женного резервирования [34], 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 подетальной заменой [34]. При этом уменьшается 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.

Рассматривается способ формирования номенклатуры узлов, входящих в ремонтный комплект, и расчета числа комплектов, необходимого для эффективной работы транспорта в течение года. 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 резервных комплектов с немедленным восполнением дефицита, образующегося при этом, либо рассчитывается потребность в дополнительных резервах, предназначенных для ликвидации последствий внезапных отказов, на основе этого же подхода.

Наблюдая и регистрируя величины L_T - годового пробега автомобиля и L_i - пробега до предельного состояния i -го узла или агрегата, вычисляют оценки вероятностей для законов распределения $P(L_T)$, $P(L_i)$, $P(L_T, L_i)$ и их числовые характеристики $m(L_i)$ и $D(L_i)$. Затем проверяют однородность $m(L_i)$ для каждого агрегата и входящих в него

узлов, не принимая в расчет быстроизнашивающиеся, 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 первый 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 эксплуатационной надежности парка из N автомобилей в течение года

$$Q_j = NL_r / L_i \quad (3.3)$$

где N - число автомобилей данной модели в парке; L_r - 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 (3.1) является нелинейной функцией двух случайных аргументов, и способы линеаризации [2] для нее неприемлемы из-за большой погрешности при нахождении дисперсии, проще и эффективнее найти закон распределения $P(Q_j)$, наиболее вероятное значение Q_j , приняв его как годовую потребность в резервных ремонтных комплектах, и величину вероятной ошибки ϵ , основываясь на теореме П.Л. Чебышева,

$$\varepsilon \leq \sqrt{D(Q)/n(1-P_0)} \quad (3.4)$$

где, $D(Q)$ - оценка дисперсии числа j комплектов; n - потребность в j комплектах; P_0 - доверительная вероятность.

В рассматриваемой задаче для каждого конкретного автомобиля срок замены агрегатов и узлов весьма неопределенен, но годовая потребность практически утрачивает характер случайности и может быть найдена с небольшой ошибкой при достаточно высоком уровне доверительной вероятности

Таблица 3.13

Числовые характеристики пробега автомобилей КАМАЗ, соответствующие достижению предельного состояния его узлами и агрегатами

№ пп	Наименование узлов и агрегатов	Среднее значение пробега, тыс.км.	Оценка диспер- сии, (тыс.км) ² .
1.	Двигатель	203	1672
2.	Масляный насос	197	1373
3.	Топливный насос низкого давления	102	1411
4.	Топливный насос высокого давления	198	1123
5.	Водяной насос, гидромурфта	91	1368
6.	Компрессор	201	1604
7.	Генератор, реле-регулятор, стартер	103	1094
8.	Сцепление	193	1656
9.	Привод управления сцеплением	82	1263
10.	Коробка передач	191	2484
11.	Привод управления делителем передач	98	1821
12.	Карданные валы	124	1974
13.	Рулевое управление	204	2475
14.	Передний мост	210	2585
15.	Передние рессоры, амортизаторы	88	1991
16.	Средний мост, межосевой дифференциал	214	1479
17.	Задний мост	215	1323
18.	Задняя подвеска	126	1216
19.	Узлы механизма подъема платформы	116	1398
20.	Узлы пневмопривода тормозной системы	92	1716

Оценки числовых характеристик пробега автомобилей КамАЗ, при котором достигают предельного состояния агрегаты и узлы, а также оценки вероятностей распределения годового пробега автомобилей и пробега, при котором осуществляется замена двигателя КамАЗ-740 представлены в табл.3.13 и 3.14.

Объем выборки (приложение 3) составляет 96 ед., условия эксплуатации, характеризуемые типом дорожного покрытия и условиями движения, соответствует третьей категории. Автомобили работают в 2-3 смены, специализируются на перевозках снега и льда зимой и строительных материалов круглогодично, при этом имеет место ежегодное пополнение новыми автомобилями взамен списанных, предупреждающее старение парка. С использованием данных табл.1 определяется номенклатура и число ремонтных комплектов, а также годовая потребность в них для парка из 200 автомобилей при доверительной вероятности $P_d = 0,8$.

Проверяется гипотеза об однородности оценок дисперсий первых девяти агрегатов и узлов (поскольку при замене двигателя его снимают вместе со сцеплением, отвернув болты крепления корпуса делителя передач к картеру маховика) с помощью G -критерия Кокрена. Гипотеза не отвергается при

$$G = D(L_i)_{\max} / \sum_{i=1}^9 \tilde{D}(L_i) < G_{кр}(\alpha, f_1, f_2)$$

где, G -значение G -статистики по данным наблюдений; $D(L_i)_{\max}$ - величина максимальной из рассматриваемых девяти оценок дисперсий D ; $G_{кр}$ - критическое значение G -статистики; α -уровень значимо-

сти; f_1 -число степеней свободы оценок дисперсий; f_2 -число сравниваемых оценок.

$$G = 1672/12564 = 0,1331 < G_{кр}(0,05; 95; 9) = 0,1547$$

Поскольку значение $G_{кр}$, вычисленное по формуле, приведенной в источнике [178] превышает величину, найденную по результатам наблюдений, гипотеза о равенстве первых девяти оценок $D(L_i)$ не отвергается.

Проверяется однородность средних значений пробега до предельного состояния двигателя и пневмогидравлического привода управления сцеплением с помощью t -критерия Стьюдента. Гипотеза о равенстве средних не отвергается, если величина t -статистики меньше значения $t_{кр}$ для двусторонней критической области. При равных объемах выборок

$$t = [(\bar{L}_{i \max} - \bar{L}_{i \min})\sqrt{n(n-1)} / \sqrt{n(\tilde{D}(L_{i \max}) + \tilde{D}(L_{i \min}))}] > t_{кр}(\alpha, f_3),$$

где $\bar{L}_{i \max}$, $\bar{L}_{i \min}$, -соответственно, большее и меньшее значения пробега до предельного состояния в рассматриваемой совокупности из девяти агрегатов и узлов, тыс.км; $\tilde{D}(L_{i \max})$, $\tilde{D}(L_{i \min})$ - соответствующие им оценки дисперсий пробега, (тыс.км)²; n -объем выборок; α -уровень значимости; f_3 -число степеней свободы, $f_3 = 2n-2$.

$$t = (202 - 82)\sqrt{96(96-1)} / \sqrt{96(1672+1263)} = 21,59 > t_{кр}(0,05; 190)=1,96.$$

Следовательно, наработка до предельного состояния привода управления сцеплением существенно меньше наработки двигателя. Заменяясь чаще, он образует вместе с другими агрегатами и узлами,

имеющими однородные \bar{L}_i , отдельный ремонтный комплект, одновременно являясь частью входящего в первый ремонтный комплект двигателя в сборе со сцеплением.

Определяя последовательно однородность \bar{L}_i двигателя и водяного насоса с гидромуфтой, затем топливного насоса низкого давления, генератора, реле-регулятора и стартера, находят, что и они должны заменяться чаще.

Повторяя процедуру сравнения числовых характеристик, убеждаются, что 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.

Второй ремонтный комплект составляют узлы механизма подъема платформы, задняя подвеска, карданные валы, третий - водяной насос с гидромуфтой, генератор, реле-регулятор, стартер, привод управления сцеплением, привод управления делителем передач, передние рессоры, амортизаторы, узлы пневмопривода тормозной системы.

В качестве числовых характеристик пробега автомобиля, при котором осуществляется замена комплектов, могут быть приняты соответствующие общие средние. В частности, средние значения пробега до замен первого, второго и третьего комплектов составляют:

$$L_{1k} = (203 + 197 + 198 + 201 + 193 + 191 + 204 + 210 + 214 + 215) / 10;$$

$$L_{1k} = 203 \text{ тыс.км,}$$

$$L_{2k} = (124 + 126 + 116) / 3 = 122 \text{ тыс.км,}$$

$$L_{3k} = (102 + 91 + 103 + 82 + 98 + 88 + 92) / 7 = 94 \text{ тыс.км.}$$

Числовые характеристики пробегов агрегатов и узлов, приведенные в табл.3, получены для автомобилей, работающих разное число смен и имеющих существенно отличающийся годовой пробег. Использование средней величины годового пробега для расчета годовой потребности даст ошибку, которая может быть уменьшена при наличии информации о годовом пробеге каждого автомобиля.

Таблица 3.14

Распределение $P(L_2, L_d)$

L_d , тыс.км		126-162	162-198	198-234	234-270	270-306	
L_g , тыс.км	\bar{L}_d , тыс.км	144	180	216	252	288	
	\bar{L}_g , тыс.км	Р	0,16	0,34	0,27	0,16	0,07
32-50	41	0,16	0,05	0,10	-	0,01	-
50-68	59	0,31	0,11	0,10	0,08	0,02	-
68-86	77	0,41	-	0,14	0,14	0,13	-
86-104	95	0,10	-	-	0,03	-	0,07
104-122	113	0,02	-	-	0,02	-	-

В первых трех строках табл.3.14 приведены значения границ разрядов пробегов автомобилей L_d , при которых происходит замена двигателей, середин разрядов \bar{L}_d и оценки вероятностей попадания случайной величины пробега в соответствующие разряды. В первых трех столбцах даны границы разрядов L_2 годовых пробегов автомобилей, середины разрядов \bar{L}_g и оценки вероятностей попадания величины пробега в разряды. С учетом формулы (3.3), разделив последовательно значения второго столбца на значения второй строки табл.3.14 и умножив на $N = 200$, а также присвоив результатам соответствующим

щие оценки вероятностей, приведенных в табл.3.14, получают ряд распределения $P(Q)$. Его параметры: $\tilde{m}(Q) = 68 \text{ед.}$, $\tilde{D}(Q) = 204 \text{кв.ед.}$

Приняв в качестве годовой потребности в первом ремонтном комплекте величину, равную 68 компл., определяют погрешность ε в соответствии с формулой (3.4) при уровне значимости $\alpha = 1 - P_{\gamma} = 0,2$

$$\varepsilon \leq \sqrt{204 / 68(1 - 0,8)}; \quad \varepsilon = 4 \text{ компл.}$$

Следовательно, годовая потребность в первом ремонтном комплекте составляет $Q_1 = 68 \pm 4$ компл. При относительной ошибке, не превышающей шести процентов.

Таким образом, однородность дорожных и природно-климатических условий, условий движения, перевозок, стабильность возрастной структуры парка, организации проведения технических обслуживаний и ремонтов при укомплектованности экипажей квалифицированными водителями позволяет с достаточно высоким уровнем доверительной вероятности определить номенклатуру ремонтных комплектов на основе устойчивости средних пробегов агрегатов до предельного состояния, а также годовую потребность в комплектах для обеспечения надежности парка. Способ прост, базируется на фундаментальных законах теории вероятностей. Для проведения расчетов требуется штатная информация, имеющаяся в распоряжении инженерно-технических служб автотранспортных предприятий (приложение 3).

3.4. ФОРМИРОВАНИЕ ПОТОКА АГРЕГАТОВ, ПОСТУПАЮЩИХ В РЕМОНТ ИЗ-ЗА ПОСТЕПЕННЫХ ОТКАЗОВ

Парк автомобилей под влиянием внешних воздействий и технологических факторов, формирующих качество изготовления и ремонта, по мере эксплуатации снижает работоспособность, причем каждый из агрегатов автомобилей одной модели из-за случайного характера износа, деформаций и повреждений достигает предельного состояния в случайный момент времени. Однако средняя продолжительность эксплуатации автомобилей \tilde{m} до капитального ремонта агрегатов и среднее число агрегатов \tilde{n} , подлежащих ремонту в течение года, утрачивают характер случайности и могут быть найдены с приемлемой точностью при небольшом объеме статистической информации, собранной в короткий срок.

Точность определения \tilde{m} , характеризуемая величиной допустимой ошибки ϵ , должна обеспечивать поступление в ремонт требуемого числа агрегатов в течение планового периода Δt , принятого на предприятии. Минимальная продолжительность Δt ограничивается временем выхода из ремонта хотя бы одного агрегата, максимальная - организационными или экономическими соображениями.

Для парка с числом автомобилей одной модели N и параметрами продолжительности работы до предельного состояния m, D , найденным по выборке N_1 , среднее число агрегатов, подлежащих капитальному ремонту в единицу времени (единицу, принятую для измерения параметра \tilde{m})

$$\lambda = N / \tilde{m}. \quad (3. 1)$$

Доверительную вероятность P , с которой \tilde{m} входит в интервал 2ϵ , находят по таблице функции Лапласа из уравнения, приведенного в источнике [65]:

$$p = \Phi\left(\frac{\varepsilon}{\sigma_m \sqrt{2}}\right) \quad (3.2)$$

где σ_m - среднее квадратическое отклонение; \tilde{m} - среднее значения продолжительности эксплуатации автомобилей до предельного состояния агрегата.

$$\sigma_m = \sqrt{\tilde{D} / N_1}, \quad (3.3)$$

здесь \tilde{D} - оценка дисперсии времени работы до предельного состояния; N_1 - объем выборки.

Для нахождения вероятностей поступления K агрегатов в ремонт, образующий входящий поток, используют биномиальное распределение

$$P_{k,n} = C_n^k p^k (1-p)^{n-k}, \quad (3.4)$$

где n - число возможных исходов события, или число повторений опытов (возможное число агрегатов, достигающих предельного состояния за период Δt); p - вероятность появления события (вероятность того, что \tilde{m} попадет в доверительный интервал $\tilde{m} \pm \varepsilon$); $(1-p)$ - вероятность противоположного события; C_n^k - сочетание из n элементов по k .

Положив, что математическое ожидание биномиального распределения - это среднее число поступлений агрегатов в ремонт в течение Δt

$$\lambda = np, \quad (3.5)$$

можно вычислить n - возможное число агрегатов, достигающих предельного состояния в течение Δt , что позволяет найти вероятности поступлений k агрегатов в ремонт в течение планового периода.

Годовая программа (среднее значение числа поступлений агрегатов в ремонт)

$$\tilde{n} = S\lambda, \quad (3.6)$$

где S - число плановых периодов в году.

Дисперсия числа поступлений агрегатов в течение года

$$\tilde{D}_n = S^2\lambda(1-p). \quad (3.7)$$

Ошибка определения годовой программы в соответствии с (2.4)

$$\varepsilon_r = \sqrt{\tilde{D}_n / \tilde{n}(1-P_\partial)}. \quad (3.8)$$

Подставив в (3.8) значение \tilde{D}_n из равенства (3.7) получают величину ошибки определения программы предприятия

$$e_2 = [S(1-p) / (1-P_\partial)]^{0,5} \quad (3.9)$$

Доверительная вероятность P_∂ , с которой \tilde{n} укладывается в интервал $2e_2$, оптимизируется, исходя из минимума потерь от недогрузки предприятия и незавершенного производства. Вероятность p попадания в заданный интервал зависит от количества и качества априорной информации. С ростом N_I - числа наблюдений - уменьшается σ_m и увеличивается p , и, следовательно, уменьшается ошибка определения годовой программы. В реальных условиях e_2 составляет 10...15 процентов от \tilde{n} - годовой программы предприятия (приложение 4).

3.5. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ИЗНОСА ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ

Результаты исследований в области трения и износа [158,159] глубоко раскрывают сущность физических процессов, приводящих к изменению параметров деталей, сопряжений и узлов машин. Поэтому точность прогноза целиком определяется стабильностью факторов внешних воздействий. В частности, интенсивность изнашивания при микрорезании [158] описывается формулой

$$I_h = \operatorname{tg} \theta q_A / 2(v + 1) HB, \quad (3.10)$$

где $\operatorname{tg} \theta$ - тангенс угла наклона граней абразива; v - константа геометрии истирающей поверхности; q_A - номинальное давление на поверхности контакта; HB - твердость изнашиваемого материала.

Твердость по Бринелю как отношение нагрузки, вдавливающей стальной шарик в испытуемый образец, к площади поверхности сферической лунки в металле, хотя и варьирует, но в очень узких пределах, поэтому принимается постоянной. Константа v характеризует случайную величину - фактическую (физическую) площадь касания, представляющую собой сумму малых площадок контакта тел, но при достаточно большой номинальной площади контакта A_a и микроскопических, но многих и многократно воспроизводимых фактических площадок контакта, является величиной постоянной для конкретных касающихся поверхностей. Угол наклона граней абразива θ также случайная, широко варьирующая величина, однако при больших A_a , малых размерах инденторов и большом их числе, одновременно вступающих в многократно повторяющийся контакт, распределение $P(\theta)$ имеет устойчивые относительные частоты. В условиях карьера, например, достаточно взять для исследования небольшие пробы песка. Номинальное давление $q_a = Q / A_a$, где Q - нагрузка; A_a - геометриче-

ская площадь контакта, величины хотя и случайные, и переменные, при многократном воспроизведении контакта их средние значения полностью характеризуют среднюю величину \bar{q}_a , которая определяет интенсивность изнашивания I_h .

Формула (3. 10) применима для расчета величин износа кузовов автомобилей-самосвалов, работающих на перевозках измельченной руды, накладок скользящих коренных листов основных и дополнительных рессор и во многих других случаях, когда выполняются условия (2. 1), (2. 4). Она позволяет достаточно просто, но достоверно прогнозировать величину износа при стабильных нагрузениях, которые имеют место в реальной эксплуатации машин. При этом длина, глубина и количество царапин в течение смены при многократном воспроизведении рабочих операций может быть охарактеризована средними значениями. Число операций, варьирующее в течение смены, за несколько смен также может быть представлено средней величиной. Этим объясняется тот факт, что в подобных случаях опытные механики и водители дают достаточно точные прогнозы на интуитивном уровне. В работе [158] приведены интенсивности изнашивания для различных деталей, сопряжений и узлов машин. Для деталей I_h определена одним числом, для узлов даны минимальные интервалы варьирования, обусловленные особенностью конструкций. Расчеты, выполняемые с использованием этих данных, дают практически точный результат, когда имеет место устойчивость вероятностных характеристик.

3.6. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЯ, ОПИСЫВАЕМОЙ МАРКОВСКИМИ ЦЕПЯМИ

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 и не зависит от интенсивности, с которой деталь изнашивалась ранее. Р. В. Ротенберг [226] пишет: “важнейшей особенностью водительской деятельности является то, что характеристики личностных качеств управляющих действий водителя не могут быть в точности предсказаны и их оценки должны носить вероятностный характер”.

Оценки вероятностей P_i вектора начальных состояний и вероятности P_{ij} матрицы перехода могут быть получены при обработке наблюдений объекта в предшествующий достаточно продолжительный 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, 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 обеспечивает устойчивость и высокую довери-

тельную вероятность для величин P_i и P_{ij} . Результаты текущих наблюдений за величинами износа используются для оценивания однородности априорных и апостериорных вероятностей состояний объекта и их корректировки в случае необходимости.

Известно [256], 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

$$a_n = a p^{n-1}. \quad (3.29)$$

Стационарное распределение регулярной регулярной (непериодической) марковской цепи отыскивается решением уравнения

$$P b = b, \quad (3.30)$$

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

Равенство (3.30) приводит к системе уравнений

$$\begin{aligned} P_{11}b_1 + P_{21}b_2 + \dots + P_{i1}b_i + \dots + P_{m1}b_m &= b_1 \\ P_{12}b_1 + P_{22}b_2 + \dots + P_{i2}b_i + \dots + P_{m2}b_m &= b_2 \\ \dots & \\ P_{1j}b_1 + P_{2j}b_2 + \dots + P_{ij}b_i + \dots + P_{mj}b_m &= b_j \\ \dots & \\ P_{1m}b_1 + P_{2m}b_2 + \dots + P_{im}b_i + \dots + P_{mm}b_m &= b_m \end{aligned} \quad (3.31)$$

При условии $b_1 + b_2 + \dots + b_i + \dots + b_m = 1$ находят искомые вероятности стационарного распределения.

Интенсивность изнашивания тормозных накладок автомобиля УАЗ-450 в условиях города оценивается тремя состояниями:

$$I_{h1} > 1,9 \cdot 10^{-10}; \quad 1,9 \cdot 10^{-10} > I_{h2} > 1,3 \cdot 10^{-10}; \quad I_{h3} < 1,3 \cdot 10^{-10}.$$

Вероятности вектора начальных состояний, соответствующие окончанию приработки, $a = (0,5; 0,3; 0,2)$, матрица вероятностей перехода, соответствующих начальному периоду эксплуатации,

$$P_1 = \begin{pmatrix} 0,1 & 0,5 & 0,4 \\ 0,4 & 0,2 & 0,4 \\ 0,3 & 0,4 & 0,3 \end{pmatrix} .$$

Вероятности распределений по состояниям и стационарное распределение интенсивности износа накладок вычисляются по формулам (3.29), (3.30), (3.31). Например, матрица перехода в момент времени $t = 2$

$$P_2 = \begin{pmatrix} 0,39 & 0,31 & 0,36 \\ 0,24 & 0,40 & 0,36 \\ 0,28 & 0,35 & 0,37 \end{pmatrix} .$$

Стационарное распределение интенсивности износа накладок имеет место при $t \geq 4$: $P_{(t \geq 4)} = (0,28 \ 0,36 \ 0,36)$.

Это означает, что при стационарном режиме работы у 28% автомобилей УАЗ-450 интенсивность изнашивания $I_{hl} > 1,9 \cdot 10^{-10}$

Используя формулы (3.29) и (3.31), можно получить распределения, характеризующие состояния парка машин в будущие моменты времени с целью планирования расхода запасных частей, восстановления оборотных агрегатов и др. [24], а также моделировать реализации случайного процесса изнашивания деталей и изменения ошибок механизмов (рис. 2.9).

Устойчивостью рассматриваемых вероятностных характеристик обладают также машинные парки [167, 226]. В зависимости от эффективности функционирования системы технических обслуживаний и текущих ремонтов, а также режимов нагружения и совокупности

других экзогенных воздействий, сохраняющих относительную неизменность в течение длительного времени, вероятности переходов из работоспособного состояния в состояние отказа, простоя на ТО и ТР также достаточно устойчивы.

Применяя формулы для поглощающих марковских цепей, анализируют ситуации, в которые может попасть изделие после капитального ремонта, и оценивают показатели его надежности. В качестве поглощающих могут быть приняты состояние отказа из-за низкого качества капитального ремонта или неудовлетворительных эксплуатационных условий и, напротив, состояние безотказной работы в течение срока гарантии, обусловленное приемлемым качеством ремонта и эксплуатации. Неустойчивые состояния - работа машин на участках, характеризуемых особенностями режимов нагружения, возможностями проведения техобслуживаний и пунктуальностью соблюдения правил технической эксплуатации. Вычислив по данным наблюдений вероятности матрицы переходов и записав их в канонической форме [256], выделяют единичную матрицу I , матрицу нулевых элементов O , матрицу переходов из неустойчивых состояний в поглощающие R и матрицу переходов из неустойчивых состояний в неустойчивые Q .

Определив фундаментальную матрицу

$$N = (I - Q)^{-1}, \quad (3.32)$$

находят оценки математических ожиданий числа изменений маршрутов перевозок. Вычислив элементы матрицы

$$N_2 = N(2N_{dq} - 1) - N_{sq}, \quad (3.33)$$

где

$$N_{dq} = \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & d \end{bmatrix}, N_{sq} = \begin{bmatrix} a^2 & b^2 \\ c^2 & d^2 \end{bmatrix},$$

при $N = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$

получают оценки дисперсий числа маршрутов.

Среднее время работы капитально отремонтированного автомобиля на конкретных маршрутах до отказа и до окончания срока гарантии

$$\tau = N\xi, \quad (3.34)$$

где ξ - вектор, составленный из единиц, имеющих размерность, принятую в расчетах (например, срок гарантии).

Вектор-столбец оценок дисперсий пробегов автомобилей на соответствующих маршрутах до отказа и до окончания срока гарантии

$$\tau_2 = (2N - 1)\tau - \tau_{sq}. \quad (3.35)$$

Вероятности перехода из неустойчивых состояний в поглощающие (вероятности отказа) на участках определяются матрицей

$$B = N \cdot R. \quad (3.36)$$

Имея результаты, полученные по формулам (3.32), (3.33), (3.34), (3.35), (3.36), определяют вероятности отказов по эксплуатационным причинам и вероятности безотказной работы для автомобилей, прошедших капитальный ремонт, интенсивность отказов по участкам, функции распределения времени безотказной работы и др. Подробный анализ конкретной ситуации рассмотрен в работе [27].

3.7. КЛАССИФИКАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОГНОЗНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ОБЪЕКТ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НЕЗАВИСИМЫХ ФАКТОРОВ

При исследовании зависимости Y от некоторой величины X количественная оценка явления рассматривается как средний результат воздействия суммы n независимых случайных величин либо n повто

рений независимых опытов над одной случайной величиной. Если во всех экспериментальных точках j исследуемой области выполняется условие (2.1) и при этом ϵ меньше погрешности измерительного прибора $e_{\text{ИР}}$, то считают, что имеет место функциональная зависимость. Зафиксировав значения функции при соответствующих величинах аргумента, получают $y = f(x)$, заданную таблично.

Если $e \geq e_{\text{ИР}}$, но выполняется условие (2.1), имеет место стохастическая, или вероятностная зависимость, поскольку фиксированному значению фактора соответствует отнюдь не одно значение отклика, хотя все они практически удовлетворяют требуемой точности, поскольку не выходят из интервала, обусловленного заданным уровнем доверительной вероятности. Записав средние значения отклика при соответствующих значениях фактора, получают таблицу экспериментальной зависимости, которую можно выразить аналитически, воспользовавшись методом наименьших квадратов. Одной из важнейших ее характеристик является оценка дисперсии воспроизводимости опытов $S_g^2(y)$ Условие (2.2) в этом случае выглядит так:

$$P\left(\left|Y_j - M(Y_j)\right| \geq \epsilon\right) \leq \frac{S_g^2(y)}{n\epsilon^2}. \quad (2.15)$$

Если $e \geq e_{\text{ИР}}$, и не выполняются условия (2.1), (2.2) и (2.15), но имеет место

$$P\left(\left|\bar{Y}_j - M(Y_j)\right| \geq \epsilon\right) \leq \frac{\tilde{D}(m)}{n\epsilon^2}, \quad (2.16)$$

то зависимость Y от X представляет собой случайную функцию $Y(X)$.

В формуле (2.16) \bar{Y}_j - среднее арифметическое наблюдаемых значений величины Y в j -ой экспериментальной точке; $M(Y_j)$ -

математическое ожидание Y в точке j ; e - допустимая ошибка; $\tilde{D}(m)$ - оценка дисперсии средних значений в экспериментальных точках.

$$\tilde{D}(m) = \tilde{D}(Y) / n, \quad (2.17)$$

И если не выполняется условие (2.16), но значения Y_j не распределены равномерно, речь может идти только о наличии тенденции.

Для коррелированных Y и X в первом случае коэффициент корреляции $r = \pm 1$, во втором и в третьем он существенен с высоким уровнем доверительной вероятности, в четвертом случае он незначим, хотя и не равен нулю.

При построении уравнений регрессии критерием адекватности его экспериментальным данным служит значение F -статистики. В первых двух случаях сравниваются оценки дисперсий неадекватности $S_{ad}^2(y)$ и воспроизводимости опытов $S_e^2(y)$, в третьем случае - оценки дисперсий $S_{ad}^2(y)$ и $S^2(m)$.

3.8. ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

1. Большое разнообразие и широкая вариация неблагоприятных факторов, имеющих место в северном регионе, предполагает при прогнозировании пробега агрегатов и автомобилей до предельного состояния, определяющего потребность в ремонтах, использование распределений вероятностей как исчерпывающих характеристик для некоторых корректирующих коэффициентов, характеризующих отличие реальных условий эксплуатации от эталонных, принятых при разработке нормативов.

Предлагаемый способ определения потребности в ремонтах агрегатов и автомобилей с целью поддержания их работоспособности базируется на численных методах, удобных при составлении машинных программ. Он позволяет 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 прогнозной моделью максимального количества информации позволяет получить более точные и достоверные прогнозные оценки. Ошибки прогнозов, разрабатываемых на основе устойчивости средних значений и относительных частот, не выходят за пределы 15%.

2. Многократное постоянное воспроизведение событий: исчерпание ресурса агрегатами и их ремонт при достаточно большом сбалансированном в отношении возрастной структуры парке, стабильном качестве ремонта и не изменяющихся эксплуатационных условиях, соответствующих рекомендациям завода-изготовителя, позволяют принять оценки математических ожиданий пробегов до предельного состояния в качестве нормативов для автомобилей, используемых в специфических условиях технологической цепи предприятий северного региона, и вычислить потребность в ремонтах агрегатов для пополнения оборотного фонда с целью обеспечения работоспособности автомобилей.

3. Способ поддержания работоспособности автомобилей на основе ненагруженного резервирования, предусматривающего замену отказавших элементов на заранее подготовленные ремонтные комплекты, позволяет, используя информацию инженерно-технических служб автотранспортных предприятий, находить число и номенклату-

ру комплектов, базируясь на методе устойчивых средних значений и объективных статистических критериях. Оптимизация номенклатуры и количества запасных частей для двигателей 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 простои в плановых и аварийных ремонтах при снижении трудоемкости ремонта на 10%.

4. Программа ремонтного подразделения формируется из автомобилей и агрегатов, достигающих предельного состояния в течение года. Несмотря на существенное рассеивание календарного пробега среднее число автомобилей, подлежащих ремонту, практически теряет характер случайности и с приемлемой точностью может служить не только исходной величиной при проектировании или реконструкции, но и основным параметром при расчете текущей загрузки предприятия. Оптимизация программ ремонта агрегатов и автомобилей с использованием прогнозных оценок на предприятиях АО Норильский никель позволила снизить простои в ремонтах автомобилей КраЗ-6510 в среднем до 20 дней вместо 22, КамАЗ-5511 – до 18 вместо 21.

5. Интенсивность изнашивания деталей, сопряжений и узлов автомобиля при многократном воспроизведении условий перевозок может быть охарактеризована средним значением, поскольку вариация факторов, обуславливающих характер явления при стабильных условиях эксплуатации, компенсируется количеством воспроизведений процесса. При изменяющихся условиях оценивается устойчивость относительных частот вариантов организации перевозок и в случае их

стабильности, может быть разработан достаточно достоверный прогноз для каждого варианта.

6. Устойчивость относительных частот вероятностных характеристик системы “водитель – автомобиль - дорога – среда” позволяет использовать теорию марковских процессов для прогнозирования показателей надежности капитально отремонтированных автомобилей и их элементов в случаях, когда процессам присущи свойства стационарности, ординарности и отсутствия последействия. Знание достоверных оценок неизвестных вероятностей перехода автомобилей из работоспособного состояния в состояние отказа при относительной неизменности условий эксплуатации и режимов работы позволяет прогнозировать среднюю величину и оценку дисперсии пробега автомобилей до отказа и другие эксплуатационные показатели.

7. На основе фундаментальных законов теории вероятностей разработана классификация интер и экстраполяционных моделей, а также приведены количественные критерии, позволяющие оценивать экспериментальные зависимости с позиций устойчивости средних значений отклика, допустимой погрешности, величины коэффициента корреляции и адекватности модели экспериментальным данным.