

Определение количества годных и подлежащих восстановлению объектов по данным эксплуатационных наблюдений

Основной источник информации о надежности объекта — подконтрольная эксплуатация, в ходе которой фиксируют данные об отказах. Полученную информацию направляют на завод-изготовитель или ремонтный завод в виде донесений об отказе изделия. Донесение содержит информацию об изделии, условиях его эксплуатации, характере и причинах отказа, трудоемкости восстановления.

На основе донесений составляют сводные перечни видов отказов изделий, оценки показателей надежности, сводную ведомость расхода запасных частей и другие документы.

Информация о надежности объекта должна быть достоверной (истинной, правильной, отражающей объективные факторы без домыслов и догадок), полной (исчерпывающей, содержащей все существенные сведения, которые учитывают во время принятия решений), однородной (относящейся к одинаковым объектам, эксплуатирующимся примерно в одинаковых условиях), дискретной (разделена по отдельным признакам), своевременной (могла использоваться для изменения конструкций, корректировки технологического процесса изготовления, ремонта машины и технического обслуживания).

Сбор, обработка и анализ информации о надежности объектов связаны с необходимостью исследования случайных событий и величин. Все показатели надежности сельскохозяйственной техники относят к категории случайных величин, которые рассчитывают методами теории вероятностей и математической статистики.

Статистическую оценку показателей надежности дают совокупности объектов, объединенных единым признаком или свойством. Например, детали можно группировать в совокупности по различным признакам: размерам, отклонениям формы, износам; машины — по долговечности и т. д. Различают статистическую, генеральную и выборочную совокупности.

Статистическая совокупность — это совокупность, состоящая из однородных объектов, обладающих качественной общностью.

Генеральная совокупность — это совокупность объектов, подлежащих исследованию. Однако исследовать все объекты генеральной совокупности обычно не представляется возможным. Поэтому для исследования из генеральной совокупности выбирают опреде-

ленное число объектов, которое называют выборочной совокупностью или выборкой.

Выборочная совокупность (выборка) — определенное число объектов, отработанных из генеральной совокупности для получения объективных сведений о генеральной совокупности.

Выборка должна быть подобна генеральной совокупности, чтобы на основании ее можно было достаточно уверенно судить об интересующем признаке генеральной совокупности. Выборка должна быть представительной, каждый объект — отобран случайно и все объекты — иметь одинаковую вероятность попасть в выборку.

Для объективной оценки генеральной совокупности очень важен объем выборки, т. е. число объектов наблюдений, составляющих выборку.

В случае же изучения менее однородного материала метод получения выборки и ее объем приобретают решающее значение.

Так, при испытаниях машин объем выборки оценивают числом одновременно испытываемых машин с учетом полученных от каждой из них точек информации. Малый объем выборки в этом случае может привести к значительным ошибкам и сделать полученные результаты непригодными для практического использования. Слишком большое число одновременно испытываемых машин, хотя и приведет к более высокой точности расчетов, но будет неприемлемым из-за экономических соображений ввиду высокой стоимости испытаний каждой машины. Поэтому в данном случае необходимо искать оптимальное решение, при котором объем выборки, обеспечивая достаточную точность конечных результатов, не будет слишком большим, а сами испытания — слишком дорогими.

Если во время испытаний у каждого объекта выборочной совокупности будет зафиксирован интересующий исследователя показатель надежности, то полученную таким образом информацию называют *полной*. Если же испытания ограничивают по времени или наработке объектов и за это время или наработку не у всех объектов выборочной совокупности зафиксирован показатель надежности, то такую информацию называют *усеченной*. При этом возможны также случаи преждевременного снятия с испытаний объектов, у которых не зафиксирован показатель надежности и время или наработка которых не достигли заранее оговоренных условиями испытаний значений. Досрочное снятие машин с испытаний возможно при хозяйственной необходимости, авариях, пожарах и других непредвиденных обстоятельствах. Полученную по такой методике испытаний информацию называют *многократно усеченной*, а преждевременно снятые с испытаний машины — приостановленными.

1.4.2. МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ПОЛНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Рассмотрим методику обработки полной информации по показателям надежности на примере доремонтного ресурса двигателя типа СМД.

Информацию обрабатывают в следующем порядке.

1. Составление сводной таблицы информации в порядке возрастания показателя надежности (табл. 1.7).

1.7. Сводная таблица информации о доремонтных ресурсах двигателя, мото-ч

Номер двигателя	Доремонтный ресурс	Номер двигателя	Доремонтный ресурс	Номер двигателя	Доремонтный ресурс
1	1500	24	3700	48	4490
2	1870	25	3790	49	4490
3	2010	26	3810	50	4570
4	2010	27	3900	51	4600
5	2720	28	3920	52	4710
6	2900	29	3940	53	4730
7	3020	30	3970	54	4820
8	3060	31	4000	55	4850
9	3060	32	4000	56	4910
10	3180	33	4100	57	4930
11	3200	34	4130	58	4990
12	3210	35	4130	59	4990
13	3210	36	4180	60	5100
14	3260	37	4210	61	5210
15	3300	38	4230	62	5350
16	3300	39	4260	63	5400
17	3300	40	4300	64	5670
18	3420	41	4300	65	5790
19	3460	42	4350	66	5840
20	3480	43	4370	67	5900
21	3580	44	4380	68	5950
22	3610	45	4420	69	5970
23	3620	46	4470	70	7800
		47	4470		

2. Составление статистического ряда исходной информации для упрощения дальнейших расчетов в том случае, когда повторность информации $N > 25$. При $N < 25$ статистический ряд не составляют.

В нашем примере повторность информации $N = 70 > 25$, следовательно, целесообразно составить статистический ряд. При

этом информацию разбивают на n равных интервалов. Каждый последующий интервал должен примыкать к предыдущему без разрывов. Обычно число интервалов принимают 6...10. При увеличении их числа повышается точность расчетов, но одновременно возрастает их трудоемкость. Число интервалов статистического ряда

$$n = \sqrt{N} \pm 1. \quad (1.49)$$

Полученный результат округляют до ближайшего целого числа. В данном примере $n = \sqrt{70} \pm 1$. Принимаем $n = 9$.
Длина интервала

$$A = (t_{\max} - t_{\min})/n, \quad (1.50)$$

где t_{\max} и t_{\min} — наибольшее и наименьшее значения показателя надежности в сводной таблице информации. В данном примере

$$A = (7800 - 1500) : 9 \text{ мото-ч} = 700 \text{ мото-ч}.$$

За начало первого интервала рекомендуют принимать наименьшее значение показателя надежности. В данном примере начало первого интервала $t_{H1} = 1500$ мото-ч.

Статистический ряд представлен в следующем виде:

Интервал, тыс. мото-ч	1,5... 2,2	2,2... 2,9	2,9... 3,6	3,6... 4,3	4,3... 5,0	5,0... 5,7	5,7... 6,4	6,4... 7,1	7,1... 7,8
Опытная частота m_i	4	1,5	15,5	19	19	5	5	0	1
Опытная вероятность p_i	0,06	0,02	0,22	0,27	0,27	0,07	0,07	0,00	0,02
Накопленная опытная вероятность $\sum_{i=1}^n p_i$	0,06	0,08	0,30	0,57	0,84	0,91	0,98	0,98	1,00

В первой строке указывают границы интервалов в единицах показателя надежности; во второй строке — число случаев (опытную частоту m_i), попадающих в каждый интервал. Если точка информации попадает на границу интервалов, то в предыдущий и последующий интервалы вносят по 0,5 точки; в третьей строке — опытную вероятность p_i ; в четвертой строке — накопленную опытную веро-

ятность $\sum_{i=1}^n p_i$.

Опытную вероятность

$$p_i = m_i/N, \quad (1.51)$$

где m_i — опытная частота в i -м интервале статистического ряда.

Например, опытная вероятность в первом интервале

$$p_1 = 4 : 70 = 0,06.$$

Накопленную опытную вероятность определяют суммированием опытных вероятностей интервалов статистического ряда. Например, накопленная опытная вероятность во втором интервале $\Sigma p_2 = 0,06 + 0,02 = 0,08$.

3. Определение среднего значения показателя надежности и среднего квадратического отклонения. Среднее значение — важная характеристика показателя надежности. По среднему значению планируют работу машин, составляют потребность в запасных частях, определяют объемы ремонтных работ и т. д.

При отсутствии статистического ряда, когда $N < 25$, среднее значение показателя надежности

$$\bar{t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i, \quad (1.52)$$

где t_i — значение i -го показателя надежности.

При наличии статистического ряда среднее значение показателя надежности

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^n t_{ci} p_i, \quad (1.53)$$

где n — число интервалов в статистическом ряду; t_{ci} — значение середины i -го интервала; p_i — опытная вероятность i -го интервала.

В данном примере

$$\begin{aligned} \bar{t} = & 1,85 \cdot 0,06 + 2,55 \cdot 0,02 + 3,25 \cdot 0,22 + 3,95 \cdot 0,27 + \\ & + 4,65 \cdot 0,27 + 5,35 \cdot 0,07 + 6,05 \cdot 0,07 + 6,75 \cdot 0 + 7,45 \times \\ & \times 0,02 \text{ тыс. мото-ч} = 4,15 \text{ тыс. мото-ч.} \end{aligned}$$

Характеристика рассеивания показателя надежности — дисперсия или среднее квадратическое отклонение, которое определяют при отсутствии ($N < 25$) статистического ряда по уравнению

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2 / N}. \quad (1.54)$$

При наличии статистического ряда ($N > 25$)

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (t_{ci} - \bar{t})^2 p_i}. \quad (1.55)$$

В данном примере

$$\begin{aligned} \sigma = & \sqrt{(1,85 - 4,15)^2 0,06 + (2,55 - 4,15)^2 0,02 + (3,25 - 4,15)^2 \times \\ & \times 0,22 + (3,95 - 4,15)^2 0,27 + (4,65 - 4,15)^2 0,27 + (5,35 - \\ & - 4,15)^2 0,07 + (6,05 - 4,15)^2 0,07 + (6,75 - 4,15)^2 0 + \\ & + (7,45 - 4,15)^2 0,02} \text{ тыс. мото-ч} = 1,15 \text{ тыс. мото-ч.} \end{aligned}$$

4. Проверка информации на выпадающие точки. Информация по показателям надежности, полученная в процессе испытаний или наблюдений в условиях рядовой эксплуатации, может содержать ошибочные точки, не соответствующие закону распределения случайной величины. Поэтому во время математической обработки информацию проверяют на выпадающие точки.

Грубую проверку информации на выпадающие точки проводят по правилу $\bar{t} \pm 3\sigma$ следующим образом. От полученного расчетным путем среднего значения показателя надежности \bar{t} последовательно вычитают и прибавляют 3σ . Если крайние точки информации не выходят за пределы $\bar{t} \pm 3\sigma$, то все точки информации считают действительными.

Так, в данном примере границы достоверности информации будут равны:

$$\text{нижняя } 4150 - 3 \cdot 1150 \text{ мото-ч} = 700 \text{ мото-ч};$$

$$\text{верхняя } 4150 + 3 \cdot 1150 \text{ мото-ч} = 7600 \text{ мото-ч.}$$

Наименьший доремонтный ресурс двигателя $t_{др1} = 1500$ мото-ч. Следовательно, эта точка информации действительна и должна быть учтена при дальнейших расчетах. Наибольший ресурс двигателя $t_{др70} = 7800$ мото-ч. Эта точка информации выходит за верхнюю границу достоверности. Поэтому она должна быть признана недействительной (выпадающей) и не учитываться в дальнейших расчетах.

Более точно информацию на выпадающие точки проверяют по критерию Ирвина λ , теоретическое значение λ_T которого приведено в приложении 1.

Фактическое значение критерия

$$\lambda_{\text{оп}} = (t_i - t_{i-1}) / \sigma, \quad (1.56)$$

где t_i и t_{i-1} — смежные точки информации.

При $\lambda_{оп} \leq \lambda_T$ точку считают достоверной; при $\lambda_{оп} > \lambda_T$ точку признают выпадающей и исключают из дальнейших расчетов.

В тех случаях, когда после проверки исключают выпадающие точки информации, необходимо заново перестроить статистический ряд и пересчитать среднее значение и среднее квадратическое отклонение показателя надежности.

Проверим крайние точки информации о доремонтных ресурсах двигателя.

Наименьшая точка информации

$$\lambda_{оп1} = (1870 - 1500) : 1150 = 0,32.$$

Наибольшая точка информации

$$\lambda_{оп70} = (7800 - 5970) : 1150 = 1,59.$$

По приложению 1 находим, что при повторности информации $N = 70$ и доверительной вероятности $\beta = 0,95$ $\lambda_T = 1,05$.

Первую точку информации следует признать достоверной, так как $\lambda_{оп1} = 0,32 < \lambda_T = 1,05$, последнюю точку — выпадающей, так как $\lambda_{оп70} = 1,59 > \lambda_T = 1,05$.

Учитывая, что последняя точка информации выпала, в данном примере после соответствующих пересчетов будем иметь $N = 69$, $\bar{t}_{др} = 4084$ мото-ч, $\sigma = 988$ мото-ч. Окончательно после исключения выпадающей точки статистический ряд примет следующий вид:

Интервал, тыс. мото-ч	1,5...2,2	2,2...2,9	2,9...3,6	3,6...4,3	4,3...5,0	5,0...5,7	5,7...6,4
m_i	4	1,5	15,5	19	19	5	5
p_i	0,06	0,02	0,22	0,28	0,28	0,07	0,07
$\sum_{i=1}^n p_i$	0,06	0,08	0,30	0,58	0,86	0,93	1,00

5. Выполнение графического изображения опытного распределения показателя надежности. По данным статистического ряда могут быть построены гистограмма, полигон и кривая накопленных опытных вероятностей, которые дают наглядное представление об опытном распределении показателя надежности и позволяют решать ряд инженерных задач графическими способами.

Для построения гистограммы (рис. 1.17) по оси абсцисс откладывают в определенном масштабе показатель надежности t , а по оси ординат — опытную частоту m_i или опытную вероятность p_i .

При построении полигона распределения (рис. 1.18) по осям абсцисс и ординат откладывают те же значения, что и при построении гистограммы. Точки полигона распределения образуются пересечением ординаты, равной опытной вероятности интервала, и абсциссы, равной середине этого интервала. Начальную и ко-

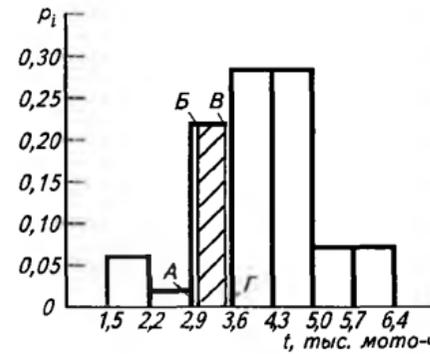


Рис. 1.17. Гистограмма накопленных опытных вероятностей

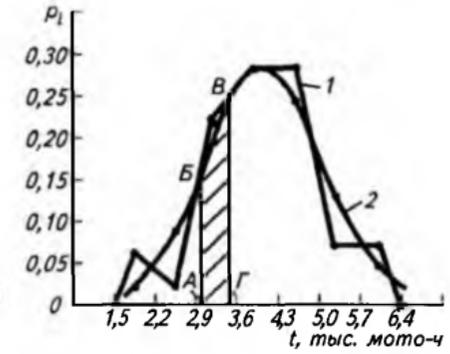


Рис. 1.18. Полигон распределения ресурсов двигателя (1) и график дифференциальной функции (2)

нечную точки полигона распределения приравнивают к абсциссам начала первого и конца последнего интервалов статистического ряда.

С помощью гистограммы и полигона распределения можно определить, например, число двигателей, которые достигнут предельного состояния и потребуют ремонта в заданном интервале наработки. Для этого надо определить площадь полигона или гистограммы $АБВГ$ (см. рис. 1.17 и 1.18), ограниченную заданным интервалом, например 3,0...3,5 тыс. мото-ч, и отнести ее к суммарной площади под ступенчатым графиком гистограммы или под ломаной линией полигона. Полученное значение укажет на число отказавших двигателей в долях единицы. Для получения числа физических двигателей необходимо это значение умножить на число точек информации.

Для построения кривой накопленных опытных вероятностей (рис. 1.19) по оси абсцисс откладывают в масштабе значение показателя надежности t , а по оси ординат — накопленную опытную вероятность $\sum_{i=1}^n p_i$.

Точки кривой накопленных опытных вероятностей образуются пересечением ординаты, равной сумме вероятностей

$\sum_{i=1}^n p_i$, и абсциссы конца данного

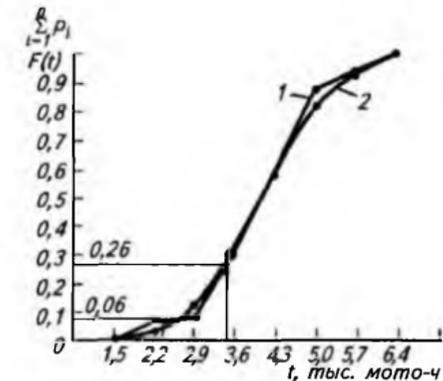


Рис. 1.19. Кривая накопленных опытных вероятностей (1) и график (2) интегральной функции (функции распределения)

интервала. Полученные точки соединяют прямыми линиями. Первую точку соединяют с началом первого интервала.

Кривая накопленных опытных вероятностей более удобна для решения практических задач по сравнению с гистограммой и полигоном распределения, так как в этом случае нет необходимости определять площади, а все искомые показатели находят по оси ординат. Например, для определения числа двигателей, требующих ремонта при наработке до 3,5 тыс. мото-ч, необходимо на оси абсцисс найти точку 3,5 и по оси ординат определить накопленную опытную вероятность $\sum p_i = 0,26$. Физическое число $N_{\text{двиг}} = 0,26 \cdot 69 = 18$ двигателей.

С помощью этой же кривой можно найти число отказавших двигателей в любом интервале наработки. Например, в интервале наработки 2,5...3,5 тыс. мото-ч $N_{\text{двиг}} = (0,26 - 0,06) \cdot 69 = 14$ двигателей.