

Практическая работа № 1.

Определение статистических параметров надежности машин.

Эффективность использования тракторов, автомобилей, комбайнов и сельскохозяйственных машин определяется их показателями надежности в конкретных условиях работы. При этом оценка показателей надежности возможна по результатам наблюдений (испытаний) партии машин в данных условиях эксплуатации, определяемых географическим районом расположения эксплуатирующих предприятий, характером выполняемых работ, принятой системой технического обслуживания и ремонтов и т. д.

При решении задач надежности, как правило, применяют один из известных законов распределения, разработанных в теории вероятностей для характеристики случайных величин.

Для проверки соответствия экспериментальных данных высказанной гипотезе о теоретическом распределении используют специальные критерии согласия, разработанные в математической статистике.

Основные принципы, положенные в основу обработки информации:

1. Все показатели надежности относятся к категории случайных величин.

2. Основными характеристиками каждого показателя надежности являются:

- среднее значение (математическое ожидание);
- характеристики рассеивания (среднее квадратическое отклонение σ и коэффициент вариации v);
- доверительные границы рассеивания одиночного и среднего значений показателя надежности;
- наибольшие возможные абсолютная и относительная погрешности.

3. Показатели надежности являются существенными положительными величинами, поэтому у них начало зоны рассеивания может существенно смещаться относительно их нулевых значений. Величину смещения (C) следует учитывать при определении коэффициента вариации и последующем выборе теоретического закона распределения показателя надежности.

1. Общие сведения

Система сбора и обработки информации о надежности серийно выпускаемых новых и отремонтированных изделий машиностроения

представляет собой совокупность организационно-технических мероприятий по получению необходимых и достоверных сведений о надежности объектов. Она регламентирована РД 50-690–89 Методические указания. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным.

Сбор и обработку информации о надежности объектов выполняют с целью усовершенствования конструкции, технологии изготовления, сборки и испытаний объектов, обеспечивающих повышение надежности; разработки мероприятий по совершенствованию диагностирования, технического обслуживания и текущих ремонтов; повышения качества капитальных ремонтов и снижения затрат на их проведение; оптимизации норм расхода запасных частей.

Основные задачи системы сбора и обработки информации:

- определение показателей надежности объектов;
- выявление конструктивных и технологических недостатков объектов, приводящих к снижению их надежности;
- выявление деталей и сборочных единиц, лимитирующих надежность машины в целом;
- изучение закономерностей возникновения неисправностей и отказов;
- установление влияния условий и режимов эксплуатации на надежность объекта;
- корректировка нормируемых показателей надежности;
- определение эффективности мероприятий по повышению надежности объектов.

В ходе разработки конструкции информация о надежности объектов поступает из лабораторий, проводящих стендовые испытания опытных образцов, а также с заводов, полигонов, машиноиспытательных станций, из хозяйств, где машины проходят опытную эксплуатацию.

Важным источником информации о надежности в гарантийный период эксплуатации объекта служат рекламации от потребителей техники.

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 (разделенной по отдельным признакам), своевременной (используемой 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 определенное число объектов, которое называют выборочной совокупностью, или выборкой.

Выборочная совокупность (выборка) – определенное число объектов, отобранных 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.

В данной работе будет рассмотрена методика обработки полной информации по показателям надежности на примере доремонтного ресурса двигателя Д-245.

2. Задание

Каждому магистранту выдается индивидуальное задание на отдельном листе в виде набора чисел, обозначающих наработку новых двигателей в часах работы (мото-ч) до отправки их в капитальный ремонт, т. е. доремонтный ресурс:

Вариант В-Х

2052	5145	1858	4420	4673	3466	3401	2593	1835	3287
6157	3140	3356	7969	1348	3822	5152	4888	5093	3562
3380	4616	3756	4335	1422	4739	3677	3271	3775	1506
5541	4367	4471	2678	3007	2714	2359	3664	2610	2792
4636	2169	3560	3811	4118	3434	3727	5440	5078	3885
4059	3193	5984	2305	5618	4871	5629	4035	4101	3174
2141	2166	2320	1207	4237	5596	1269	4828	4836	3982
1511	2464	5720	2553	3800	4423	3646	6959	2193	1438
5921	5638	3218	3128	6440	4098	4671	3021	2162	3155
4260	5278	3961	2772	3850	3008	4227	4052	5117	4440

Примечание. В таблице приведено 100 значений показателя надежности. Преподаватель может дать задание обработать любое число значений от 10 до 100 (один столбец, одна строка, два столбца, две строки и т. д.).

Необходимо:

1. Составить сводную таблицу исходной информации.
2. Составить статистический ряд исходной информации.
3. Определить среднее значение показателя надежности и среднее квадратическое отклонение.
4. Проверить информацию на выпадающие точки.
5. Графически отобразить опытную информацию (построить гистограмму накопленных опытных вероятностей, полигон распределения, кривую накопленных опытных вероятностей).
6. Определить коэффициент вариации.
7. Выбрать теоретический закон распределения для выравнивания опытной информации и рассчитать значения дифференциальной и интегральной функций.
8. Произвести оценку совпадений опытного и теоретического распределений по критериям согласия.
9. Определить доверительные границы рассеивания одиночного и среднего значений показателя надежности.
10. Определить абсолютную и относительную ошибки переноса характеристик показателя надежности.

3. Порядок выполнения задания

3.1. Составление сводной таблицы исходной информации

Сводная таблица информации (вариационный ряд) составляется в порядке возрастания показателя надежности (табл. 1).

Таблица 1. Сводная информация о доремонтных ресурсах, ч (мото-ч)

Номер двигателя	Доремонтный ресурс	Номер двигателя	Доремонтный ресурс	Номер двигателя	Доремонтный ресурс	Номер двигателя	Доремонтный ресурс
1	1207	26	2792	51	3800	76	4673
2	1269	27	3007	52	3811	77	4739
3	1348	28	3008	53	3822	78	4828
4	1422	29	3021	54	3850	79	4836
5	1438	30	3128	55	3885	80	4871
6	1506	31	3140	56	3961	81	4888
7	1511	32	3155	57	3982	82	5078
8	1835	33	3174	58	4035	83	5093
9	1858	34	3193	59	4052	84	5117
10	2052	35	3218	60	4059	85	5145
11	2141	36	3271	61	4098	86	5152
12	2162	37	3287	62	4101	87	5278
13	2166	38	3356	63	4118	88	5440
14	2169	39	3380	64	4227	89	5541
15	2193	40	3401	65	4237	90	5596
16	2305	41	3434	66	4260	91	5618
17	2320	42	3466	67	4335	92	5629
18	2359	43	3560	68	4367	93	5638
19	2464	44	3562	69	4420	94	5720
20	2553	45	3646	70	4423	95	5921
21	2593	46	3664	71	4440	96	5984
22	2610	47	3677	72	4471	97	6157
23	2678	48	3727	73	4616	98	6440
24	2714	49	3756	74	4636	99	6959
25	2772	50	3775	75	4671	100	7969

Примечание. Жирными линиями выделены границы интервалов, которые проводятся после заполнения первой строки табл. 2.

3.2. Составление статистического ряда исходной информации

Статистический ряд информации составляется для упрощения дальнейших расчетов в том случае, когда повторность информации $N \geq 25$. При $N < 25$ статистический ряд не составляют.

В нашем примере повторность информации $N = 100 > 25$, 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

$$n = \sqrt{N} \pm 1.$$

Полученный результат округляют до ближайшего целого числа. В данном примере $n = 100 \pm 1 = 9...11$. Принимаем $n = 9$.

Длина (протяженность, ширина) интервала

$$A = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{n},$$

где t_{\max} и t_{\min} – наибольшее и наименьшее значения показателя надежности в сводной таблице информации.

В данном примере

$$A = \frac{7969 - 1207}{9} = 751,33333. \text{ Принимаем } A = 752 \text{ ч (мото-ч).}$$

Протяженность интервала всегда округляют в большую сторону. При этом интервалы должны быть одинаковыми по величине.

Далее определяют границы интервалов. За начало первого интервала рекомендуют принимать наименьшее значение показателя надежности. В данном примере:

начало первого интервала $t_{n1} = t_{\min} = 1207$ ч (мото-ч);

конец первого интервала $t_{к1} = t_{n1} + A = 1207 + 752 = 1959$ ч (мото-ч).

Конец первого интервала является началом второго, т. е.:

начало второго интервала $t_{n2} = t_{к1} = 1959$ ч (мото-ч);

конец второго интервала $t_{к2} = t_{n2} + A = 1959 + 752 = 2711$ ч (мото-ч).

Аналогично рассчитывают границы остальных интервалов (с третьего по девятый) и составляют статистический ряд (табл. 2).

В первой строке указывают границы интервалов и их середины в единицах показателя надежности, которые отмечают в табл. 1 жирны-

ми линиями. В данном примере конец первого интервала $t_{к1} = 1959$ ч (мото-ч), поэтому границу проводим между двигателями № 9 и № 10, у которых наработка соответственно равна 1858 и 2052 ч (мото-ч), т. е. граница $t_{к1} = 1959$ ч (мото-ч) проходит между ними. Аналогично проводим границы остальных интервалов. Если точка информации попадает на границу интервалов, то в предыдущий и последующий интервалы вносят по 0,5 точки, если попадают две точки, то одну точку вносят в предыдущий интервал, а другую – в следующий интервал.

Таблица 2. Статистический ряд распределения доремонтной наработки двигателей и выбор теоретического закона распределения

Интервал, ч (мото-ч)	$t_{и}$	1207	1959	2711	3463	4215	4967	5719	6471	7223
	$t_{к}$	1959	2711	3463	4215	4967	5719	6471	7223	7975
	$t_{сi}$	1583	2335	3087	3839	4591	5343	6095	6847	7599
Опытная частота m_i		9	14	18	22	18	12	5	1	1
Опытная вероятность p_i		0,09	0,14	0,18	0,22	0,18	0,12	0,05	0,01	0,01
Накопленная опытная вероятность $\sum_{i=1}^n p_i$		0,09	0,23	0,41	0,63	0,81	0,93	0,98	0,99	1,00
Закон нормального распределения	$\frac{t_{сi} - \bar{t}}{\sigma}$	-1,67	-1,10	0,53	0,04	0,61	1,18	1,75	2,32	2,90
	$f(t_{сi})$	0,06	0,13	0,20	0,23	0,19	0,11	0,05	0,02	0,00
	$\frac{t_{кi} - \bar{t}}{\sigma}$	-1,39	-0,82	-0,25	0,33	0,90	1,47	2,04	2,61	3,18
	$F(t_{кi})$	0,08	0,21	0,40	0,63	0,82	0,93	0,98	1,00	1,00
	$\left \sum_{i=1}^n p_i - F(t_{кi}) \right $	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
	$m_{тi}$	8	13	19	23	19	11	7		
	$\frac{(m_i - m_{тi})^2}{m_{тi}}$	0,125	0,077	0,053	0,043	0,053	0,091	0,000		
Закон распределения Вейбулла	$\frac{t_{сi} - C}{a}$	0,22	0,45	0,68	0,91	1,13	1,36	1,59	1,81	2,04
	$f(t_{сi})$	0,08	0,15	0,21	0,21	0,16	0,09	0,05	0,02	0,01
	$\frac{t_{кi} - C}{a}$	0,34	0,57	0,79	1,02	1,25	1,47	1,70	1,93	2,15
	$F(t_{кi})$	0,08	0,23	0,44	0,65	0,82	0,90	0,97	0,99	1,00
	$\left \sum_{i=1}^n p_i - F(t_{кi}) \right $	0,01	0,00	0,03	0,01	0,01	0,03	0,01	0,00	0,00
	$m_{тi}$	8	15	21	21	17	8	10		
	$\frac{(m_i - m_{тi})^2}{m_{тi}}$	0,125	0,067	0,429	0,048	0,059	2,000	0,900		

Примечание. Магистранты рисуют пустую форму таблицы и заполняют ее по строкам в процессе расчетов. Ячейки таблицы объединяются при определении критерия согласия Пирсона.

Во второй строке указывают число случаев (опытную частоту m_i), попадающих в каждый интервал. Для этого подсчитывают в табл. 1 число значений наработок между проведенными границами. В данном примере между границами первого интервала (до первой жирной линии) находится 9 значений, т. е. $m_1 = 9$, между границами второго интервала (между первой и второй жирной линией) – 14 значений, т. е. $m_2 = 14$ и т. д.

В третьей строке помещают опытную вероятность p_i , рассчитанную по формуле

$$p_i = \frac{m_i}{N}.$$

Например, опытная вероятность в первом интервале $p_1 = 9 : 100 = 0,09$, во втором $p_2 = 14 : 100 = 0,14$ и т. д.

В четвертой строке приводят накопленную опытную вероятность. Накопленную опытную вероятность определяют суммированием опытных вероятностей интервалов статистического ряда. В данном примере накопленная опытная вероятность в первом интервале $\Sigma p_1 = p_1 = 0,09$; во втором интервале $\Sigma p_2 = p_1 + p_2 = 0,09 + 0,14 = 0,23$ и т. д.

Следует отметить, что накопленная опытная вероятность в последнем интервале должна быть равна единице. Возможна погрешность в несколько сотых за счет округления.

3.3. Определение среднего значения показателя надежности и среднего квадратического отклонения

Среднее значение – важная характеристика показателя надёжности.

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

$$\bar{t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i,$$

где t_i – значение i -го показателя надежности.

При наличии статистического ряда среднее значение показателя надежности

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^N t_{ci} p_i,$$

где t_{ci} – значение середины i -го интервала (см. табл. 2).

В данном примере

$$t = 1583 \cdot 0,09 + 2335 \cdot 0,14 + 3087 \cdot 0,18 + 3839 \cdot 0,22 + 4591 \cdot 0,18 + 5343 \cdot 0,12 + 6095 \cdot 0,05 + 6847 \cdot 0,01 + 7599 \cdot 0,01 = 3786 \text{ ч (мото-ч)}.$$

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

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

Исправленное выборочное среднее квадратическое отклонение случайной величины (выборочное стандартное отклонение)

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2},$$

где s – выборочное среднее квадратическое (стандартное) отклонение случайной величины, являющееся оценкой стандартного отклонения генеральной совокупности.

При наличии статистического ряда ($N > 25$)

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

В данном примере

$$\begin{aligned} \sigma &= \sqrt{(1583 - 3786)^2 \cdot 0,09 + (2335 - 3786)^2 \cdot 0,14 + (3087 - 3786)^2 \cdot 0,18 +} \\ &\sqrt{+(3839 - 3786)^2 \cdot 0,22 + (4591 - 3786)^2 \cdot 0,18 + (5343 - 3786)^2 \cdot 0,12 +} \\ &\sqrt{+(6095 - 3786)^2 \cdot 0,05 + (6847 - 3786)^2 \cdot 0,01 + (7599 - 3786)^2 \cdot 0,01} = \\ &= \sqrt{1731022,44} = 1316,56 \approx 1317 \text{ ч (мото-ч)}. \end{aligned}$$

3.4. Проверка информации на выпадающие точки

Информация по показателям надежности, полученная в процессе испытаний или наблюдений в условиях рядовой эксплуатации, может содержать ошибочные точки (резко отличающиеся от остальной последовательности), не соответствующие закону распределения случайной величины. Появляются они в результате ошибочных действий операторов, снимающих показания приборов, или сбоя работы приборов по разным причинам. Поэтому во время математической обработки проверяют информацию на выпадающие точки.

Грубую проверку информации на выпадающие точки проводят по правилу «трех сигм» ($t \pm 3\sigma$) следующим образом. От полученного расчетным путем среднего значения показателя надежности t последовательно вычитают и прибавляют 3σ . Если крайние точки информации не выходят за пределы $t \pm 3\sigma$, то все точки информации считают действительными. Если хотя бы одна крайняя точка выходит за указанные пределы, то следует сделать вывод, что правило «трех сигм» не выполняется и в данной информации имеются выпадающие точки или она не подчиняется закону нормального распределения (ЗНР).

Так, в данном примере границы достоверности информации будут равны:

$$\begin{aligned} \text{нижняя} & - 3786 - 3 \cdot 1317 = -165 \text{ ч (мото-ч)} < t_{\min} = 1207 \text{ ч (мото-ч)}; \\ \text{верхняя} & - 3786 + 3 \cdot 1317 = 7737 \text{ ч (мото-ч)} < t_{\max} = 7969 \text{ ч (мото-ч)}. \end{aligned}$$

На основании проведенных расчетов можно сделать вывод о том, что правило «трех сигм» для нижней точки выполняется, а для верхней – не выполняется, следовательно, верхняя точка или является выпадающей, или информация не подчиняется закону нормального распределения.

Более точно информацию на выпадающие точки проверяют по критерию Ирвина λ , теоретическое значение λ_t которого приведено в табл. 1 (приложение).

Фактическое значение критерия

$$\lambda = \frac{(t_i - t_{i-1})}{\sigma},$$

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

При $\lambda_{\text{оп}} \leq \lambda_t$ точку считают достоверной; при $\lambda_{\text{оп}} > \lambda_t$ 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 t и среднее квадратическое отклонение σ показателя надежности и повторно провести проверку информации на выпадающие точки. Отбрасывание и проверку выполняют до тех пор, пока не будут отброшены все выпадающие точки.

Проверим крайние точки информации о доремонтных ресурсах двигателя.

По табл. 1 (приложение) находим, что при повторности информации $N = 100$ и доверительной вероятности $\beta = 0,95$ $\lambda_T = 1,00$.

Наименьшая точка информации

$$\lambda_{\text{оп1}} = \frac{(t_2 - t_1)}{\sigma} = \frac{(1269 - 1207)}{1317} = 0,047 < \lambda_T = 1,00.$$

Наибольшая точка информации

$$\lambda_{\text{оп100}} = \frac{(t_{100} - t_{99})}{\sigma} = \frac{(7969 - 6959)}{1317} = 0,767 < \lambda_T = 1,00.$$

Следовательно, все точки достоверные, выпадающих точек нет.

3.5. 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) по оси абсцисс откладывают в определенном масштабе показатель надежности t , а по оси ординат – опытную частоту m_i или опытную вероятность p_i .

Масштаб ординаты следует выбирать, придерживаясь правила «золотого сечения»:

$$Y = \frac{5}{8} X,$$

где Y – длина наибольшей ординаты;

X – длина абсциссы, соответствующая наибольшему значению параметра (наработки).

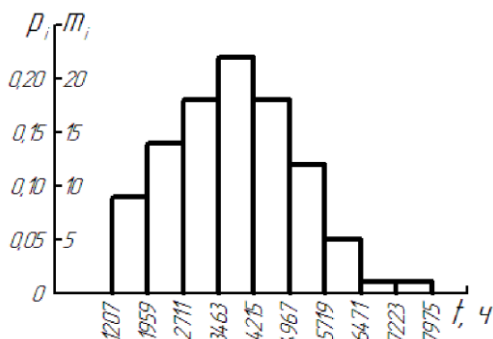


Рис. 1. Гистограмма накопленных опытных вероятностей

В данном примере $t_{\max} = 7969$ ч (мото-ч). Выбираем $\mu_X = 100$ ч (мото-ч)/мм. Длина абсциссы, соответствующая наибольшему значению наработки $X = t_{\max} / \mu_X = 7969 / 100 = 79,69$ мм. Тогда длина наибольшей ординаты $Y = 5 / 8 \cdot 79,69 = 49,81$ мм. Наибольшая опытная частота в четвертом интервале $m_4 = 22$ и соответствующая ей опытная вероятность $p_4 = 0,22$. Расчетный масштаб по оси ординат для опытной частоты $\mu_{Y,m} = m_4 / Y = 22 / 49,81 = 0,44$ ед/мм, опытной вероятности – $\mu_{Y,p} = m_4 / Y = 0,22 / 49,81 = 0,0044$ ед/мм.

При построении полигона распределения (рис. 2) по осям абсцисс гистограммы. Точки полигона распределения образуются пересечением ординаты, равной опытной вероятности интервала, и абсциссы, равной середине этого интервала. Начальную и конечную точки полигона распределения приравнивают к абсциссам начала первого и конца последнего интервалов статистического ряда.

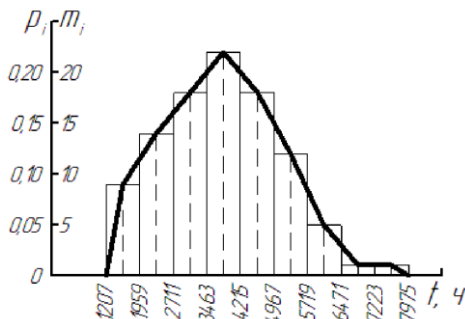


Рис. 2. Полигон распределения ресурсов двигателя

Для построения кривой накопленных опытных вероятностей (рис. 3) по оси абсцисс откладывают в масштабе значение показателя надежности t , а по оси ординат – накопленную опытную вероятность.

Учитывая, что максимальное значение накопленной опытной вероятности не может превышать 1,00, масштаб по оси ординат для удобства построения можно выбрать $\mu_{\Sigma p} = 0,01$ ед/мм. Точки кривой накопленных опытных вероятностей образуются пересечением ординаты, равной сумме вероятностей, и абсциссы конца данного интервала. Полученные точки соединяют прямыми линиями. Первую точку соединяют с началом первого интервала.

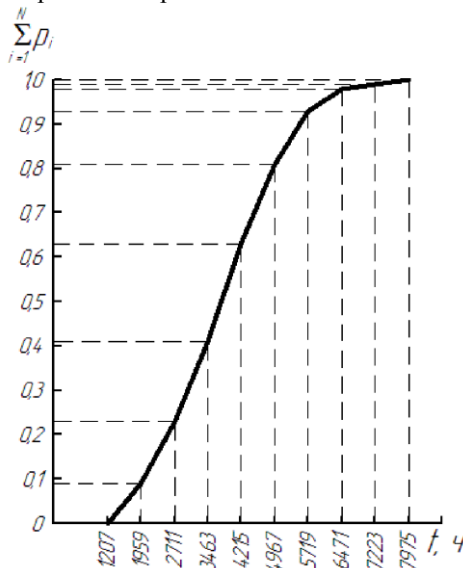


Рис. 3. Кривая накопленных опытных вероятностей

3.6. Определение коэффициента вариации

Коэффициент вариации представляет собой относительную безразмерную величину, характеризующую рассеивание показателя надежности. Коэффициент вариации

$$v = \frac{\sigma}{\bar{T} - C},$$

где C – смещение рассеивания показателя надежности – расстояние от начала координат до начала рассеивания случайной величины.

Смещение рассеивания рассчитывают по уравнениям:
при отсутствии статистического ряда ($N < 25$)

$$C = \frac{t_1 - (t_3 - t_1)}{2},$$

где t_1 и t_3 – значения первой и третьей точек информации в порядке их возрастания;

при наличии статистического ряда ($N \geq 25$)

$$C = t_{н1} - 0,5 A,$$

где $t_{н1}$ – начало первого интервала статистического ряда;

A – длина интервала.

Тогда в данном примере

$$C = 1207 - 0,5 \cdot 752 = 831 \text{ ч (мото-ч)}.$$

Коэффициент вариации

$$v = \frac{1317}{3786 - 831} = 0,45.$$

3.7. Выбор теоретического закона распределения для выравнивания опытной информации

Испытания сельскохозяйственной техники на надежность связаны с организационными трудностями и большими материальными затратами, что ограничивает как число испытываемых машин, так и длительность их испытаний. Кроме того, результаты испытаний зависят от квалификации механизаторов и наблюдателей, почвенных и климатических условий, сортов и чистоты топливосмазочных материалов, качества запасных частей и т. д.

Перечисленные факторы не позволяют переносить результаты испытаний на надежность на машины той же марки, не входящие в выборочную совокупность без соответствующих корректив, которые заключаются в том, что на основании первичной информации о выборочной совокупности машин определяют теоретический закон распределения показателя надежности для генеральной совокупности машин. Этот закон выражает общий характер изменения показателя надежности и исключает частные отклонения, связанные с недостатками первичной информации.

Такой процесс замены опытного распределения теоретическим называют процессом выравнивания, или сглаживания, статистической информации.

Для выравнивания распределений показателей надежности сельскохозяйственной техники и ее элементов наиболее широко используют закон нормального распределения (ЗНР) и закон распределения Вейбулла (ЗРВ).

В первом приближении теоретический закон распределения выбирают по коэффициенту вариации. При $v < 0,30$ выбирают ЗНР, при $v > 0,50$ – ЗРВ. Если значение коэффициента вариации находится в интервале $0,30 \dots 0,50$, то выбирают тот закон распределения (ЗНР или ЗРВ), который лучше совпадает с распределением опытной информации.

Использование для выравнивания распределения опытной информации закона нормального распределения.

Закон нормального распределения характеризуется дифференциальной (функцией плотностей вероятностей) и интегральной (функцией распределения) функциями. Отличительная особенность дифференциальной функции – симметричное рассеивание частных значений показателей надежности относительно среднего значения.

Дифференциальную функцию описывают уравнением

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\bar{t})^2}{2\sigma^2}},$$

где σ – среднее квадратическое отклонение;

e – основание натурального логарифма ($e = 2,718$);

t – показатель надежности;

\bar{t} – среднее значение показателя надежности.

Если принять $\bar{t} = 0$ и $\sigma = 1$, то получим выражение для централизованной нормированной дифференциальной функции

$$f_0(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}.$$

Центрированная нормированная функция дана в табл. 2 (приложение).

Для определения дифференциальной функции через централизованную нормированную функцию используют уравнение

$$f(t) = \frac{A}{\sigma} f_0\left(\frac{t_{ci} - \bar{t}}{\sigma}\right),$$

где A – длина i -го интервала;

t_{ci} – середина i -го интервала.

Кроме того, следует пользоваться уравнением

$$f_0(-t) = f_0(+t)$$

В качестве примера определим значение дифференциальной функции в первом интервале статистического ряда.

$$\begin{aligned} f(1207 \dots 1959) &= \frac{752}{1317} f_0\left(\frac{1583 - 3786}{1317}\right) = 0,57 f_0(-1,67) = 0,57 f_0(1,67) = \\ &= 0,57 \cdot 0,10 = 0,057 \approx 0,06. \end{aligned}$$

Интегральная функция, или функция распределения,

$$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{+\infty} e^{-\frac{(t-\bar{T})^2}{2\sigma^2}} dt.$$

При условии $t = 0$ и $\sigma = 1$ получим центрированную и нормированную интегральную функцию

$$F_0(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{+\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt.$$

Эта функция приведена в табл. 3 (приложение).

Для определения интегральной функции $F(t)$ через $F_0(t)$ применяют уравнение

$$F(t) = F_0\left(\frac{t_{ki} - \bar{T}}{\sigma}\right),$$

где t_{ki} – значение конца i -го интервала.

При этом используют также уравнение

$$F_0(-t) = 1 - F_0(+t).$$

Определим значение интегральной функции в первом интервале статистического ряда:

$$\begin{aligned} F(1207 \dots 1959) &= F_0\left(\frac{1959 - 3786}{1317}\right) = F_0(-1,39) = 1 - F_0(1,39) = \\ &= 1 - 0,92 = 0,08. \end{aligned}$$

Рассчитанные аналогичным образом значения дифференциальной и интегральной функций по всем интервалам статистического ряда приведены в табл. 2.

Использование для выравнивания распределения опытной информации закона распределения Вейбулла.

Дифференциальную функцию, или функцию плотности вероятностей, определяют при законе распределения Вейбулла по уравнению

$$f(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a} \right)^{b-1} e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b},$$

где a и b – параметры распределения Вейбулла;

e – основание натурального логарифма;

t – показатель надежности.

Параметр b определяют по табл. 4 (приложение). Для этого необходимо предварительно найти коэффициент вариации v . Из таблицы выписывают значение параметра b , коэффициенты K_b и C_b . При $v = 0,45$ $b = 2,35$, $K_b = 0,89$ и $C_b = 0,40$.

Параметр a рассчитывают по одному из уравнений:

$$a = (\bar{t} - C)/K_b,$$

или

$$a = \sigma/C_b.$$

В данном примере $a = (3786 - 831) : 0,89 = 3320$ ч (мото-ч).

Дифференциальную функцию определяют по табл. 5 (приложение).

При этом используют уравнение

$$f(t) = \frac{A}{a} f\left(\frac{t_{ci} - C}{a}\right),$$

где A – длина интервала статистического ряда;

t_{ci} – середина интервала статистического ряда;

C – смещение.

Дифференциальная функция в первом интервале статистического ряда

$$f(1207 \dots 1959) = \frac{752}{3320} f\left(\frac{1583 - 831}{3320}\right) = 0,23 f(0,23) = 0,23 \cdot 0,34 = 0,08.$$

Необходимо определить значение дифференциальной функции ЗРВ $f(0,23)$ при значении параметра $b = 2,35$. Однако в таблице нет таких значений. Есть значения $f(0,2)$ при $b = 2,0$ и $b = 3,0$, а также значения $f(0,3)$ при тех же значениях $b = 2,0$ и $b = 3,0$. Для нахождения искомого значения воспользуемся формулой линейной интерполяции:

$$y = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1),$$

где y – значение, ответ, который нужно получить;

x – значение, в котором вычисляется функция (в нашем примере $x = 0,23$);

x_1 и y_1 – имеющиеся табличные значения первой точки (меньшей, чем искомая);

x_2 и y_2 – имеющиеся табличные значения второй точки (большей, чем искомая).

Сначала находим значение $f(0,23)$ для $b = 2,0$. Обозначим

$$\frac{t_{ci} - C}{a} = 0,2$$

как $x_1 = 0,2$, а соответствующее ему табличное значение при $b = 2,0$ как $y_1 = 0,38$. Аналогично

$$\frac{t_{ci} - C}{a} = 0,3$$

как $x_2 = 0,3$ и $y_2 = 0,55$. Подставим данные значения в формулу:

$$f(0,23)_{b=2} = y = 0,38 + \frac{0,55 - 0,38}{0,3 - 0,2} (0,23 - 0,2) = 0,43.$$

Повторим вычисления для $b = 3,0$, подставив соответствующие значения:

$$f(0,23)_{b=3} = y = 0,12 + \frac{0,26 - 0,12}{0,3 - 0,2} (0,23 - 0,2) = 0,16.$$

Обозначим $b = 2,0$ как $x_1 = 2$ и $f(0,23)_{b=2} = 0,43$ как $y_1 = 0,43$, $b = 3,0$ как $x_2 = 3$ и $f(0,23)_{b=3} = 0,16$ как $y_2 = 0,16$ и вычислим искомое значение функции:

$$f(0,23)_{b=2,35} = y = 0,43 + \frac{0,16 - 0,43}{3,0 - 2,0} (2,35 - 2,0) = 0,34.$$

Интегральная функция, или функция распределения, закона Вейбулла

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b}.$$

Эту функцию определяют по табл. 6 (приложение). При этом используют уравнение

$$F(t) = F\left(\frac{t_{ki} - C}{a}\right),$$

где t_{ki} – значение конца i -го интервала.

Например, интегральная функция в первом интервале статистического ряда

$$F(1207 \dots 1959) = F\left(\frac{1959 - 831}{3320}\right) = F(0,34) = 0,08.$$

Аналогично определим значения дифференциальной и интегральной функций ЗРВ в остальных интервалах статистического ряда (см. табл. 2).

Следует отметить, что использование таблиц для определения значений дифференциальной и интегральной функций закона распределения Вейбулла (ЗРВ) довольно трудоемко, так как часто для определения каждого значения необходимо три раза применять интерполяцию.

На основании полученных значений $f(t)$ и $F(t)$ могут быть построены графики дифференциальной (рис. 4) и интегральной (рис. 5) функций ЗНР и ЗРВ. Кривые добавим соответственно на рис. 2 и рис. 3.

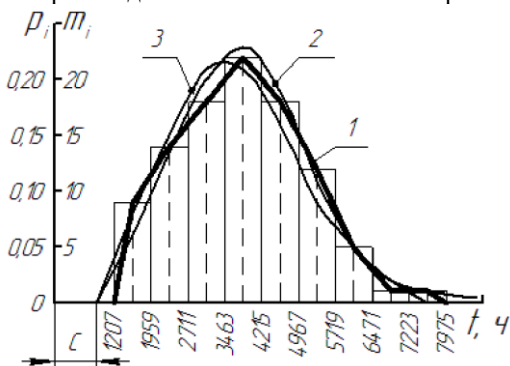


Рис. 4. Полигон распределения ресурсов двигателя (1) и графики дифференциальных функций (плотности распределения) ЗНР (2) и ЗРВ (3)

По оси абсцисс дифференциальной и интегральной кривых откладывают в определенном масштабе значения интервалов статистического ряда, а по оси ординат – значения $f(t)$ или $F(t)$. Точки на графике дифференциальной функции находят на пересечении абсцисс, равных серединам интервалов статистического ряда, и ординат, равных $f(t)$, а на графике интегральной функции – на пересечении абсцисс, равных концам интервалов статистического ряда, и ординат, равных $F(t)$. Все теоретические графики проводят из точки С, равной смещению на оси абсцисс, плавными кривыми.

Из рис. 4 и рис. 5 видно, что дифференциальная кривая заменяет полигон распределения, а интегральная – кривую накопленных опытных вероятностей.

Рис. 4 и рис. 5 можно совместить, т. е. все графики построить на одном рисунке.

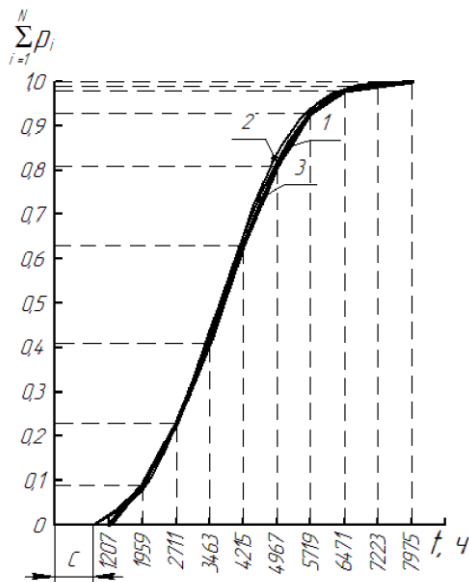


Рис. 5. Кривая накопленных опытных вероятностей (1) и графики интегральной функции (функции распределения) ЗНР (2) и ЗРВ (3)

3.8. Оценка совпадения опытного и теоретического законов распределения показателей надежности по критериям согласия

В процессе оценки совпадения определяют степень совпадения или расхождения опытной вероятности и дифференциальной функции или же накопленной опытной вероятности и интегральной функции в интервалах статистического ряда. Для определения совпадения или расхождения выбирают различные критерии: сумму квадратов отклонения дифференциальной функции от опытной вероятности, наибольшее или суммарное отклонение кривой накопленных опытных вероятностей от интегральной кривой теоретического закона распределения и т. д.

Однако как бы не велико было совпадение, оно свидетельствует только о том, что выбранный закон не противоречит опытному распределению, но не гарантирует того, что этот закон в данном случае лучше, чем какой-либо другой, выравнивает опытную информацию.

Наиболее удачно критерий согласия используют при выборе одного теоретического закона из нескольких. В этом случае наиболее приемлемым окажется тот закон распределения, совпадение которого с опытным распределением характеризуется наименьшим значением расхождения.

При обработке информации по показателям надежности сельскохозяйственной техники наиболее часто применяют критерий согласия Колмогорова и Пирсона χ^2 .

Критерий согласия Колмогорова. В качестве меры расхождения между теоретическим и статистическим распределениями А. Н. Колмогоров рассматривает максимальное значение модуля разности между статистической функцией распределения

$$F_{\text{оп}}(x) = \sum_{i=1}^n p_i$$

и соответствующей теоретической функцией распределения $F(x)$:

$$D = \max |F_{\text{оп}}(x) - F(x)|.$$

Основанием для выбора в качестве меры расхождения величины D является простота ее вычисления. Вместе с тем она имеет достаточно простой закон распределения. А. Н. Колмогоров доказал, что, какова бы ни была функция распределения $F(x)$ непрерывной случайной величины X , при неограниченном возрастании числа независимых наблюдений N вероятность неравенства $D\sqrt{N} \geq \lambda_K$ стремится к пределу

$$P(\lambda_K) = 1 - \sum_{k=-\infty}^{\infty} (-1)^k e^{-2k^2\lambda^2}.$$

Значения вероятности $P(\lambda_K)$ приведены в табл. 7 (приложение).

Схема применения критерия А. Н. Колмогорова следующая: строятся статистическая функция распределения $F_{\text{оп}}(x)$ и предполагаемая теоретическая функция распределения $F(x)$, и определяется максимум модуля разности между ними D (рис. 6).

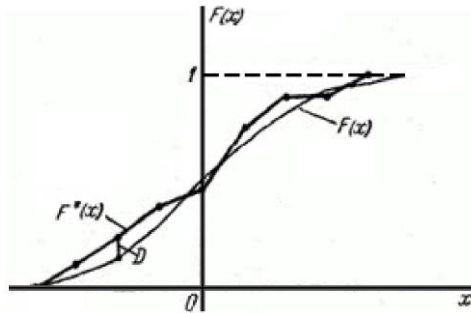


Рис. 6. Сущность критерия согласия Колмогорова

Далее определяется величина критерия Колмогорова $D\sqrt{N} \geq \lambda_K$ и по табл. 7 (приложение) находится вероятность $P(\lambda_K)$. Это есть вероятность того, что (если величина X действительно распределена по закону $F(x)$) за счет чисто случайных причин максимальное расхождение между $F_{оп}(x)$ и $F(x)$ будет не меньше, чем фактически наблюдаемое.

Если вероятность $P(\lambda_K)$ весьма мала ($P(\lambda_K) < 0,05$), гипотезу следует отвергнуть как неправдоподобную; при сравнительно больших $P(\lambda_K)$ ее можно считать совместимой с опытными данными.

Критерий Колмогорова прост в определении, но дает, как правило, завышенную вероятность совпадения. Однако при выборе одного закона из двух или нескольких, когда важно оценить, какой из них лучше выравнивает опытную информацию, можно пользоваться этим критерием.

Воспользуемся критерием согласия Колмогорова для проверки согласия полученных в данном примере законов распределения ЗНР и ЗРВ. Для этого рассчитаем значение модуля разности между статистической функцией распределения $F_{оп}(t_i)$ (см. табл. 2) и соответствующей теоретической функцией распределения $F(t_{кi})$ для ЗНР и ЗРВ):

ЗНР	ЗРВ
$ 0,09 - 0,08 = 0,01$	$ 0,09 - 0,08 = 0,01$
$ 0,23 - 0,21 = 0,02 \rightarrow \max = D$	$ 0,23 - 0,23 = 0,00$
$ 0,41 - 0,40 = 0,01$	$ 0,41 - 0,44 = 0,03 \rightarrow \max = D$
$ 0,63 - 0,63 = 0,00$	$ 0,63 - 0,65 = 0,02$
$ 0,81 - 0,82 = 0,01$	$ 0,81 - 0,82 = 0,01$
$ 0,93 - 0,93 = 0,00$	$ 0,93 - 0,90 = 0,03 \rightarrow \max = D$
$ 0,98 - 0,98 = 0,00$	$ 0,98 - 0,97 = 0,01$
$ 0,99 - 1,00 = 0,01$	$ 0,99 - 0,99 = 0,00$
$ 1,00 - 1,00 = 0,00$	$ 1,00 - 1,00 = 0,00$
$\lambda_K = D\sqrt{N} = 0,02 \sqrt{100} = 0,2$	$\lambda_K = D\sqrt{N} = 0,03 \sqrt{100} = 0,3$

По табл. 7 приложения находим:

$$P(\lambda_K) = 1,000 \quad P(\lambda_K) = 1,000$$

Полученные результаты свидетельствуют о том, что теоретические законы распределения (ЗНР и ЗРВ) хорошо согласуются с опытными данными и любой из них можно использовать для практических расчетов, однако предварительно можно предположить, что более приемлемым считается ЗНР, у которого значение критерия Колмогорова меньше ($\lambda_K = 0,2$).

Критерий согласия Пирсона. При обработке информации по показателям надежности сельскохозяйственной техники наиболее часто применяют критерий согласия Пирсона χ^2 , определяемый по уравнению

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{n_y} \frac{(m_i - m_{Ti})^2}{m_{Ti}}$$

где n_y – число интервалов укрупненного статистического ряда;

m_i – опытная частота в i -м интервале статистического ряда;

m_{Ti} – теоретическая частота в i -м интервале.

Теоретическая частота

$$m_{Ti} = N[F(t_i) - F(t_{i-1})],$$

где N – число точек информации;

$F(t_i)$ и $F(t_{i-1})$ – интегральные функции i -го и $(i-1)$ -го интервалов статистического ряда.

Для определения χ^2 строят укрупненный статистический ряд, соблюдая условие: $n_y \geq 4$, $m_i \geq 5$. При этом допускается объединение соседних интервалов, в которых $m_i < 5$. Проанализируем статистический ряд информации о доремонтных ресурсах двигателя (см. табл. 2).

Отсюда можно заметить, что $m_8 = 1$ и $m_9 = 1$ меньше пяти, поэтому седьмой, восьмой и девятый интервалы статистического ряда объединяют, т. е. $n_y = 7$. Опытная частота в объединенном интервале будет равна сумме частот объединяемых интервалов: $m_{y7} = m_7 + m_8 + m_9 = 5 + 1 + 1 = 7$. В остальных интервалах статистического ряда опытные частоты больше пяти, поэтому эти интервалы оставляем без изменения.

Теоретические частоты, например, в первом и втором интервалах при ЗНР определяют следующим образом:

$$m_{T1} = N[F(t_1) - F(t_{1-1})] = 100 (0,08 - 0) = 8,0;$$

$$m_{T2} = N[F(t_2) - F(t_{2-1})] = 100 [0,21 - 0,08] = 13,0 \text{ и т. д.}$$

Аналогично определяют теоретические частоты при ЗРВ.

Для данного примера критерий согласия Пирсона:

при законе нормального распределения

$$\chi^2 = \frac{(9,0-8,0)^2}{8,0} + \frac{(14,0-13,0)^2}{13,0} + \frac{(18,0-19,0)^2}{19,0} + \frac{(22,0-23,0)^2}{23,0} + \frac{(18,0-19,0)^2}{19,0} + \frac{(12,0-11,0)^2}{11,0} + \frac{(7,0-7,0)^2}{7,0} = 0,389;$$

при законе распределения Вейбулла

$$\chi^2 = \frac{(9,0-8,0)^2}{8,0} + \frac{(14,0-15,0)^2}{15,0} + \frac{(18,0-21,0)^2}{21,0} + \frac{(22,0-21,0)^2}{21,0} + \frac{(18,0-17,0)^2}{17,0} + \frac{(12,0-8,0)^2}{8,0} + \frac{(7,0-10,0)^2}{10,0} = 4,159.$$

Для дальнейших расчетов выбирают тот закон распределения, у которого меньше критерий Пирсона χ^2 . Судя по значениям критериев согласия ЗНР и ЗРВ, приходим к выводу, что применительно к доремонтным ресурсам двигателя более приемлемым будет закон нормального распределения.

Кроме того, пользуясь критерием согласия χ^2 (табл. 8 приложения), определяют вероятность совпадения опытных и теоретических распределений. Для входа в таблицу определяют номер строки, равный числу степеней свободы:

$$\text{номер строки} = r = n_y - K,$$

где n_y – число интервалов в укрупненном статистическом ряду;

K – число обязательных связей.

Для закона нормального распределения и закона Вейбулла число обязательных связей равно трем:

$$\bar{t}, \sigma, \sum_{i=1}^{n_y} p_i = 1; a, b \text{ и } \sum_{i=1}^{n_y} p_i = 1.$$

Для данного примера

$$r = 7 - 3 = 4.$$

Следовательно, значения критериев χ^2 находим в четвертой строке таблицы, а вероятность совпадения P – в заглавной строке. Вероятность совпадения ЗНР (с учетом интерполяции по табл. 8 приложения) составляет около 0,98, или 98 %, а ЗРВ – 0,39, или 39 %.

Критической вероятностью совпадения принято считать $P = 10\%$.

Если $P < 10\%$, то выбранный для выравнивания опытного распределения теоретический закон следует считать непригодным.

Таким образом, и по критерию Пирсона ЗНР лучше согласуется с опытными данными, так как значение χ^2 меньше, а вероятность совпадения больше.

Критерий А. Н. Колмогорова своей простотой выгодно отличается от критерия χ^2 , поэтому его весьма охотно применяют на практике.

Следует, однако, отметить, что этот критерий можно применять только в случае, когда гипотетическое распределение $F(x)$ полностью известно заранее из каких-либо теоретических соображений, т. е. когда известен не только вид функции распределения $F(x)$, но и все входящие в нее параметры. Такой случай сравнительно редко встречается на практике.

Обычно из теоретических соображений известен только общий вид функции $F(x)$, а входящие в нее числовые параметры определяются по данному статистическому материалу. При применении критерия χ^2 это обстоятельство учитывается соответствующим уменьшением числа степеней свободы распределения χ^2 .

Критерий А. Н. Колмогорова такого согласования не предусматривает. Если все же применять этот критерий в тех случаях, когда параметры теоретического распределения выбираются по статистическим данным, критерий дает заведомо завышенные значения вероятности $P(\lambda_k)$, поэтому мы в ряде случаев рискуем принять как правдоподобную гипотезу, в действительности плохо согласующуюся с опытными данными.

3.9. Определение доверительных границ рассеивания одиночного и среднего значений показателя надежности

Количественные характеристики показателей надежности (среднее значение, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации), полученные в результате обработки опытной информации, должны быть перенесены на другие совокупности машин, работающих в других условиях. Изменение числа машин в совокупности и условий их эксплуатации вызовет изменение количественных характеристик показателя надежности. Однако, несмотря на случайный характер, характеристики показателя надежности рассеиваются в определенных границах. Так, одиночное значение показателя надежности конкретной машины может отличаться в 997 случаях из 1000 от t на величину $\pm 3\sigma$ при ЗНР и на величину от $0,1a$ до $2,5a$ при ЗРВ (a – параметр закона распределения Вейбулла).

Такая высокая степень доверия расчета, охватывающего 99,7 % всех случаев, при расчете показателей надежности сельскохозяйственной техники считается излишней. Поэтому степень доверия расчета обычно принимают меньше 99,7 % и тем самым сближают границы рассеивания одиночного показателя надежности (рис. 7).

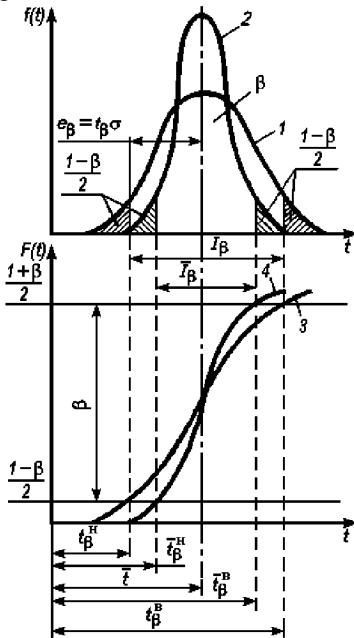


Рис. 7. Доверительные границы одиночного и среднего значений показателя надежности: 1 и 3 – дифференциальная и интегральная функции одиночного значения; 2 и 4 – дифференциальная и интегральная функции среднего значения

Степень доверия расчета оценивают площадью под дифференциальной кривой, ограниченной осью абсцисс и доверительными границами t_{β}^H и t_{β}^B . Площадь β характеризует степень доверия расчета и гарантирует заданную вероятность попадания показателя надежности в соответствующий интервал его значений. Поэтому ее называют доверительной вероятностью β .

При расчете доверительных границ рассеивания показателей надежности рекомендуется принимать следующие значения доверительных вероятностей β : 0,60; 0,80; 0,90; 0,95; 0,99.

Интервал, в который при заданной доверительной вероятности β попадает $100 \cdot \beta$ % общего числа объектов совокупности N , называют доверительным интервалом I_{β} .

Границы, в которых может колебаться значение одиночного показателя надежности при заданной β , называют нижней t_{β}^H и верхней t_{β}^B доверительными границами.

Положение доверительных границ и доверительный интервал зависят от доверительной вероятности и закона распределения одиночного или среднего значения показателя надежности.

Определение доверительных границ рассеивания при законе нормального распределения. Для определения доверительных границ рассеивания одиночного значения показателя надежности при ЗНР вначале находят абсолютную ошибку e_{β} (см. рис. 7).

$$e_{\beta} = t_{\beta} \sigma,$$

где t_{β} – коэффициент Стьюдента (табл. 9 приложения).

Нижняя доверительная граница

$$t_{\beta}^H = \bar{t} - t_{\beta} \sigma,$$

где \bar{t} – среднее значение показателя надежности.

Верхняя доверительная граница

$$t_{\beta}^B = \bar{t} + t_{\beta} \sigma.$$

Доверительный интервал

$$I_{\beta} = t_{\beta}^B - t_{\beta}^H.$$

Для примера по обработке информации по ресурсу двигателя коэффициент Стьюдента при $N = 100$ и $\beta = 0,90$ (принимается самостоятельно из ряда рекомендованных выше значений) $t_{\beta} = 1,66$, $e_{\beta} = 1,66 \cdot 1317 = 2186$ ч (мото-ч);

нижняя доверительная граница

$$t_{\beta}^H = 3786 - 1,66 \cdot 1317 = 1600 \text{ ч (мото-ч);}$$

верхняя доверительная граница

$$t_{\beta}^B = 3786 + 1,66 \cdot 1317 = 5972 \text{ ч (мото-ч);}$$

доверительный интервал

$$I_{\beta} = 5972 - 1600 = 4372 \text{ ч (мото-ч).}$$

Расчетная схема и физический смысл доверительных границ среднего значения показателя надежности те же, что и для одиночного показателя. Разница заключается в значении среднего квадратического отклонения.

Среднее квадратическое отклонение рассеивания среднего значения показателя надежности

$$\sigma_{\bar{t}} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}},$$

где N – число точек информации, по которому определено среднее значение показателя надежности.

В данном примере $N = 100$.

Нижняя доверительная граница среднего значения показателя надежности

$$\bar{t}_{\beta}^{\text{H}} = \bar{t} - t_{\beta} \frac{\sigma}{\sqrt{N}}.$$

Верхняя доверительная граница среднего значения показателя надежности

$$\bar{t}_{\beta}^{\text{B}} = \bar{t} + t_{\beta} \frac{\sigma}{\sqrt{N}}.$$

Доверительный интервал среднего значения показателя надежности

$$\bar{I}_{\beta} = \bar{t}_{\beta}^{\text{B}} - \bar{t}_{\beta}^{\text{H}}.$$

Для приведенного примера по обработке информации по ресурсу двигателя коэффициент Стьюдента $t_{\beta} = 1,67$,

нижняя доверительная граница

$$\bar{t}_{\text{др}}^{\text{H}} = 3786 - 1,66 \frac{1317}{\sqrt{100}} = 3567 \text{ ч (мото-ч)};$$

верхняя доверительная граница

$$\bar{t}_{\text{др}}^{\text{B}} = 3786 + 1,66 \frac{1317}{\sqrt{100}} = 4005 \text{ ч (мото-ч)};$$

доверительный интервал

$$I_{\beta} = 4005 - 3567 = 438 \text{ ч (мото-ч)}.$$

Определение доверительных границ при законе распределения Вейбулла. Доверительные границы рассеивания одиночного значения показателя надежности при ЗРВ определяют по уравнениям (см. рис. 7):

$$t_{\beta}^{\text{H}} = H_{\kappa}^{\text{B}} \left(\frac{1-\beta}{2} \right) a + C;$$

$$t_{\beta}^{\text{B}} = H_{\kappa}^{\text{B}} \left(\frac{1+\beta}{2} \right) a + C,$$

где H_{κ}^{B} – квантиль закона распределения Вейбулла (табл. 10 приложения);

a – параметр закона Вейбулла;

C – смещение начала рассеивания.

Доверительный интервал

$$I_{\beta} = t_{\beta}^B - t_{\beta}^H.$$

Для рассматриваемого примера при доверительной вероятности $\beta = 0,90$, $b = 2,35$, $a = 3320$ и $C = 831$

$$\bar{t}_{др}^H = H_{\kappa}^B \left(\frac{1-0,90}{2} \right) \cdot 3320 + 831 = 0,29 \cdot 3320 + 831 = 1794 \text{ ч (мото-ч);}$$

$$\bar{t}_{др}^B = H_{\kappa}^B \left(\frac{1+0,90}{2} \right) \cdot 3320 + 831 = 1,60 \cdot 3320 + 831 = 6143 \text{ ч (мото-ч);}$$

$$I_{\beta} = 6143 - 1794 = 4349 \text{ ч (мото-ч).}$$

Следует отметить, что значение квантиля закона распределения Вейбулла

$$H_{\kappa}^B \left(\frac{1-0,90}{2} \right) = H_{\kappa}^B(0,05) = 0,29$$

определено по табл. 10 (приложение). Входом в таблицу являются значение в скобках (строка таблицы) и значение параметра $b = 2,35$ (столбец таблицы). Однако столбец с таким значением в таблице отсутствует, поэтому использована интерполяция значений при $b = 2$ и $b = 2,5$. Аналогично определено и значение

$$H_{\kappa}^B \left(\frac{1+0,90}{2} \right) = H_{\kappa}^B(0,95) = 1,60.$$

Доверительные границы рассеивания среднего значения показателя надежности при ЗРВ определяют по следующим уравнениям:

$$\bar{t}_{\beta}^H = (\bar{t} - C) \sqrt[b]{r_3} + C;$$

$$\bar{t}_{\beta}^B = (\bar{t} - C) \sqrt[b]{r_1} + C,$$

где r_1 и r_3 – коэффициенты распределения Вейбулла (табл. 9 приложения), зависящие от доверительной вероятности β и повторности информации N ;

b – параметр закона распределения Вейбулла.

Доверительный интервал

$$\bar{I}_{\beta} = \bar{t}_{\beta}^B - \bar{t}_{\beta}^H.$$

Для данного примера $r_1 = 1,19$; $r_3 = 0,86$;

$$\bar{t}_{др}^H = (3786 - 831) \cdot \sqrt[2,35]{0,86} + 831 = 3602 \text{ ч (мото-ч);}$$

$$\bar{t}_{др}^B = (3786 - 831) \cdot \sqrt[2,35]{1,19} + 831 = 4013 \text{ ч (мото-ч);}$$

$$\bar{I}_{\beta} = 4013 - 3602 = 411 \text{ ч (мото-ч).}$$

3.10. Определение абсолютной и относительной предельных ошибок переноса характеристик показателя надежности

Наибольшая абсолютная ошибка переноса опытных характеристик показателя надежности при заданной доверительной вероятности равна по значению $e_{\beta} = 2186$ ч (мото-ч) в обе стороны от среднего значения показателя надежности.

Установленная интервальная оценка показателя надежности, характеризующая ее абсолютную точность, выражена в тех же единицах измерения, что и сам показатель. Именно этим она (оценка) неудобна, так как зависит не только от величины самой ошибки, но и от абсолютной величины оцениваемого показателя. В этой связи более правильно характеризовать точность оценки показателя надежности относительной ошибкой, которая позволяет корректно сравнивать объекты, в том числе и по разнородным показателям. Эту ошибку называют относительной ошибкой переноса опытных значений показателя надежности, полученных по выборке, на всю генеральную совокупность объектов.

Относительная предельная ошибка, δ_{β} , %, характеризует степень точности определения среднего значения:

$$\delta_{\beta} = \frac{\bar{t}_{\beta}^* - \bar{t}}{\bar{t} - C} \cdot 100 \%$$

Для данного примера при законе нормального распределения

$$\delta_{\beta} = \frac{4005 - 3786}{3786 - 831} \cdot 100 \% = 7,41 \%$$

при законе распределения Вейбулла

$$\delta_{\beta} = \frac{4013 - 3786}{3786 - 831} \cdot 100 \% = 7,68 \%$$

На практике основной интерес представляет односторонняя доверительная вероятность того, что параметр не меньше заданного значения (нижней границы), или односторонняя доверительная вероятность того, что параметр не больше заданного значения (верхней границы).

Поэтому относительную предельную ошибку переноса, δ_{β_0} , %, определяют и при односторонней доверительной вероятности β_0 .

Односторонняя доверительная вероятность – вероятность того, что неизвестное истинное значение параметра не выйдет за пределы верхней (или нижней) границы доверительного интервала t_{β_0} . Верхнюю или нижнюю границы односторонней доверительной вероятности рас-

считывают по тем же формулам, что и двусторонние, однако значения параметров t_{β} , r_1 и r_3 берут из той же таблицы, но на одну колонку левее, т. е. если надо найти значения для $\beta = 0,9$, то для односторонней границы его берут из колонки для $\beta = 0,8$, если для $\beta = 0,95$, то для односторонней границы его берут из колонки для $\beta = 0,9$ и т. д.

Доверительную вероятность β на стадии испытаний опытных образцов обычно принимают равной $0,7...0,8$, на стадии передачи разработки в серийное производство – $0,9...0,95$.

В данном примере при $N = 100$ и $\beta = 0,90$ коэффициент Стьюдента $t_{\beta} = 1,29$ и $r_1 = 1,14$ берем в табл. 9 (приложение) из столбцов для $\beta = 0,80$. Тогда для ЗНР односторонняя верхняя доверительная граница

$$\bar{t}_{др.о}^в = 3786 + 1,29 \frac{1317}{\sqrt{100}} = 3956 \text{ ч (мото-ч)};$$

для ЗРВ

$$\bar{t}_{др.о}^в = (3786 - 831) \cdot {}^{2,35}\sqrt{1,14} + 831 = 3955 \text{ ч (мото-ч)}.$$

Предельная относительная ошибка переноса при ЗНР

$$\delta_{\beta_0} = \frac{3956 - 3786}{3786 - 831} \cdot 100 \% = 5,75 \%;$$

при ЗРВ

$$\delta_{\beta_0} = \frac{3955 - 3786}{3786 - 831} \cdot 100 \% = 5,72 \%.$$

Следует иметь в виду, что относительная ошибка не должна превышать 20 %. В противном случае необходимо увеличить объем информации (выборку).

5. Содержание отчета

В отчете должны быть приведены:

1. Сводная таблица информации (вариационный ряд – см. табл. 2), составленная по своему варианту.
2. Статистический ряд распределения доремонтной наработки двигателей и выбор теоретического закона распределения (см. табл. 2).
3. Определение среднего значения показателя надежности и среднего квадратического отклонения.
4. Результаты проверки информации на выпадающие точки по правилу «трех сигм» и критерию Ирвина.
5. Расчет коэффициента вариации и предварительный выбор теоретического закона распределения.

6. Определение параметров ЗНР и ЗРВ и расчет теоретических частот.

7. Графическое представление информации о надежности машин (гистограмма, полигон распределения, кривая накопленных опытных вероятностей, интегральная и дифференциальная функции для ЗНР и ЗРВ).

8. Оценка совпадения опытного и теоретического законов распределения показателей надежности по критериям согласия Колмогорова и Пирсона.

9. Определение доверительных границ рассеивания одиночного и среднего значений показателя надежности.

10. Определение предельной относительной ошибки переноса.

11. Выводы (какой теоретический закон лучше выравнивает опытную информацию и рекомендуется для дальнейшего использования).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите основные принципы, положенные в основу обработки информации о надежности.

2. Что представляет собой смещение (С) и почему его следует учитывать при определении коэффициента вариации и последующем выборе теоретического закона распределения показателя надежности?

3. Цели и задачи системы сбора и обработки информации о надежности.

4. Требования, предъявляемые к информации о надежности объекта.

5. В чем различие между статистической, генеральной и выборочной совокупностями?

6. Какую информацию о надежности называют полной, усеченной и многократно усеченной?

7. Чем отличаются вариационный и статистический ряд исходной информации о надежности?

8. Как определяется число интервалов и их границы?

9. Как определяется опытная частота и опытная вероятность?

10. Что такое накопленная опытная вероятность и как она определяется?

11. Как рассчитывается среднее значение показателя надежности и среднее квадратическое отклонение?

12. Как проводится проверка информации на выпадающие точки?

13. Что такое коэффициент вариации и для чего он используется?
14. Обоснуйте необходимость выравнивания опытной информации теоретическим законом распределения. Последовательность выравнивания.
15. Как предварительно и окончательно выбрать теоретический закон распределения для выравнивания опытной информации?
16. Критерии согласия опытных и теоретических законов распределения.
17. Сущность и последовательность проверки сходимости опытного и теоретического законов распределения.
18. Интегральная функция закона нормального распределения.
19. Дифференциальная функция закона нормального распределения.
20. Интегральная функция закона распределения Вейбулла.
21. Дифференциальная функция закона распределения Вейбулла.
22. Как рассчитать теоретическую частоту для выбранного теоретического закона распределения?
23. Графическое представление информации о надежности машин (гистограмма, полигон распределения, кривая накопленных опытных вероятностей).
24. Доверительные границы рассеивания показателей надежности.
25. Как определяется предельная относительная ошибка переноса?

ЛИТЕРАТУРА

1. Надежность и ремонт машин / В. В. Курчаткин, Н. Ф. Тельнов, К. А. Ачкасов [и др.]; под ред. В. В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.
2. Кравченко, И. Н. Основы надежности машин: учеб. пособие: в 2 ч. / И. Н. Кравченко, Е. А. Пучин, Г. И. Бондарева. – М.: Изд-во, 2002. – Ч. 2. – 260 с.
3. Лабораторный практикум по дисциплине «Монтаж, эксплуатация и ремонт технологического оборудования» / П. Н. Кузнецов, М. М. Мишин. – Мичуринский гос. аграр. ун-т, 2008. – 150 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1. Коэффициент Ирвина X_r

Повторность информации N	2	3	10	20	30	50	100	400
X_m при $v = 0,95$	2,8	2,2	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9
X_m при $V = 0,99$	3,7	2,9	2,0	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3

Таблица 2. Дифференциальная функция (функция плотности вероятности)
закона нормального распределения (ЗНР)

$\frac{t_{ci} - \bar{t}}{\sigma}$	Сотые доли									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
0,1	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39
0,2	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,38	0,38
0,3	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,37	0,37	0,37	0,37
0,4	0,37	0,37	0,37	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,35
0,5	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
0,6	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,32	0,32	0,32	0,32	0,31
0,7	0,31	0,31	0,31	0,31	0,30	0,30	0,30	0,30	0,29	0,29
0,8	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27	0,27
0,9	0,27	0,26	0,26	0,26	0,26	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24
1,0	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,23	0,23	0,23	0,22	0,22
1,1	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21	0,21	0,20	0,20	0,20	0,20
1,2	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17
1,3	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15
1,4	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13
1,5	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11
1,6	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
1,7	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08
1,8	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
1,9	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
2,0	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
2,1	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
2,2	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
2,3	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
2,4	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
2,5	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
2,6	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
2,7	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
2,8	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
2,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Таблица 3. Интегральная функция (функция распределения)
закона нормального распределения

<i>I - I</i>	Сотые доли									
<i>a</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,50	0,50	0,51	0,51	0,52	0,52	0,52	0,53	0,53	0,54
0,1	0,54	0,54	0,55	0,55	0,56	0,56	0,56	0,57	0,57	0,58
0,2	0,58	0,58	0,59	0,59	0,60	0,60	0,60	0,61	0,61	0,61
0,3	0,62	0,62	0,63	0,63	0,63	0,64	0,64	0,64	0,65	0,65
0,4	0,66	0,66	0,66	0,67	0,67	0,67	0,68	0,68	0,68	0,69
0,5	0,69	0,70	0,70	0,70	0,71	0,71	0,71	0,72	0,72	0,72
0,6	0,73	0,73	0,73	0,74	0,74	0,74	0,75	0,75	0,75	0,76
0,7	0,76	0,76	0,76	0,77	0,77	0,77	0,78	0,78	0,78	0,79
0,8	0,79	0,79	0,79	0,80	0,80	0,80	0,81	0,81	0,81	0,81
0,9	0,82	0,82	0,82	0,82	0,83	0,83	0,83	0,83	0,84	0,84
1,0	0,84	0,84	0,85	0,85	0,85	0,85	0,86	0,86	0,86	0,86
1,1	0,86	0,87	0,87	0,87	0,87	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
1,2	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,90	0,90	0,90	0,90
1,3	0,90	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,92	0,92	0,92
1,4	0,92	0,92	0,92	0,92	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
1,5	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
1,6	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,96
1,7	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
1,8	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
1,9	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98
2,0	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
2,1	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99
2,2	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
2,3	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
2,4	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
2,5	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Таблица 4. Параметры и коэффициенты распределения Вейбулла

V	b	K _в	C _в	V	b	K _в	C _в	V	b	K _в	C _в
0,268	4,200	0,909	0,244	0,326	3,380	0,898	0,293	0,419	2,560	0,888	0,372
0,270	4,180	0,909	0,245	0,328	3,360	0,898	0,295	0,422	2,540	0,888	0,374
0,271	4,160	0,908	0,246	0,330	3,340	0,898	0,296	0,425	2,520	0,887	0,377
0,272	4,140	0,908	0,247	0,332	3,320	0,897	0,298	0,428	2,500	0,887	0,380
0,273	4,120	0,908	0,248	0,334	3,300	0,897	0,299	0,431	2,480	0,887	0,382
0,274	4,100	0,908	0,246	0,335	3,280	0,897	0,301	0,434	2,460	0,887	0,385
0,276	4,080	0,907	0,250	0,337	3,260	0,896	0,302	0,437	2,440	0,887	0,388
0,277	4,060	0,907	0,251	0,339	3,240	0,896	0,304	0,441	2,420	0,887	0,391
0,278	4,040	0,907	0,252	0,341	3,220	0,896	0,306	0,444	2,400	0,886	0,393
0,279	4,020	0,907	0,253	0,343	3,200	0,896	0,307	0,447	2,380	0,886	0,396
0,280	4,000	0,906	0,254	0,345	3,180	0,895	0,309	0,451	2,360	0,886	0,399
0,282	3,980	0,906	0,255	0,347	3,160	0,895	0,310	0,454	2,340	0,886	0,402
0,283	3,960	0,906	0,256	0,349	3,140	0,895	0,312	0,457	2,320	0,886	0,405
0,284	3,940	0,906	0,258	0,351	3,120	0,895	0,314	0,461	2,300	0,886	0,408
0,286	3,920	0,905	0,259	0,353	3,100	0,894	0,316	0,465	2,280	0,886	0,412
0,287	3,900	0,905	0,260	0,355	3,080	0,894	0,317	0,468	2,260	0,886	0,415
0,288	3,880	0,905	0,261	0,357	3,060	0,894	0,319	0,472	2,240	0,886	0,418
0,290	3,860	0,905	0,262	0,359	3,040	0,893	0,321	0,476	2,220	0,886	0,421
0,291	3,840	0,904	0,263	0,361	3,020	0,893	0,323	0,480	2,200	0,886	0,425
0,292	3,820	0,904	0,264	0,363	3,000	0,893	0,325	0,484	2,180	0,886	0,428
0,294	3,800	0,904	0,266	0,366	2,980	0,893	0,326	0,488	2,160	0,886	0,432
0,295	3,780	0,903	0,267	0,368	2,960	0,892	0,328	0,492	2,140	0,886	0,436
0,297	3,760	0,903	0,268	0,370	2,940	0,892	0,330	0,496	2,120	0,886	0,439
0,298	3,740	0,903	0,269	0,372	2,920	0,892	0,332	0,500	2,100	0,886	0,443
0,299	3,720	0,903	0,270	0,375	2,900	0,892	0,334	0,505	2,080	0,886	0,447
0,301	3,700	0,902	0,272	0,377	2,880	0,891	0,336	0,509	2,060	0,886	0,451
0,302	3,680	0,902	0,273	0,379	2,860	0,891	0,338	0,513	2,040	0,886	0,455
0,304	3,660	0,902	0,274	0,382	2,840	0,891	0,340	0,518	2,020	0,886	0,459
0,305	3,640	0,902	0,275	0,384	2,820	0,891	0,342	0,523	2,000	0,886	0,463
0,307	3,620	0,902	0,277	0,387	2,800	0,890	0,344	0,527	1,980	0,886	0,468
0,308	3,600	0,901	0,278	0,389	2,780	0,890	0,346	0,532	1,960	0,887	0,472
0,310	3,580	0,901	0,279	0,392	2,760	0,890	0,348	0,537	1,940	0,887	0,476
0,312	3,560	0,901	0,281	0,394	2,740	0,890	0,351	0,542	1,920	0,887	0,481
0,313	3,540	0,900	0,282	0,397	2,720	0,889	0,353	0,547	1,900	0,887	0,486
0,315	3,520	0,900	0,283	0,399	2,700	0,889	0,355	0,553	1,880	0,888	0,491
0,316	3,500	0,900	0,285	0,402	2,680	0,889	0,357	0,558	1,860	0,888	0,496
0,318	3,480	0,899	0,286	0,404	2,660	0,889	0,360	0,564	1,840	0,888	0,501
0,320	3,460	0,899	0,287	0,407	2,640	0,889	0,362	0,569	1,820	0,889	0,506
0,321	3,440	0,899	0,289	0,410	2,620	0,888	0,364	0,575	1,800	0,889	0,511
0,323	3,420	0,899	0,290	0,413	2,600	0,888	0,367	0,581	1,780	0,890	0,517
0,325	3,400	0,898	0,292	0,416	2,580	0,888	0,369	0,587	1,760	0,891	0,522

Окончание табл.4

V	b	K _в	C _B	V	b	K _B	C _B	V	b	K _B	C _B
0,593	1,740	0,891	0,528	0,687	1,480	0,904	0,622	0,962	1,040	0,984	0,947
0,599	1,720	0,892	0,534	0,696	1,460	0,906	0,631	1,000	1,000	1,000	1,000
0,605	1,700	0,892	0,540	0,705	1,440	0,908	0,640	1,020	0,980	1,009	1,029
0,612	1,680	0,893	0,546	0,714	1,420	0,909	0,650	1,042	0,960	1,018	1,061
0,619	1,660	0,894	0,553	0,724	1,400	0,911	0,660	1,064	0,940	1,029	1,095
0,626	1,640	0,895	0,560	0,744	1,360	0,916	0,681	1,088	0,920	1,040	1,132
0,633	1,620	0,896	0,567	0,765	1,320	0,921	0,704	1,113	0,900	1,052	1,171
0,640	1,600	0,897	0,574	0,787	1,280	0,926	0,729	1,139	0,880	1,066	1,214
0,647	1,580	0,898	0,581	0,811	1,240	0,933	0,757	1,167	0,860	1,068	1,261
0,655	1,560	0,899	0,589	0,837	1,200	0,941	0,787	1,196	0,840	1,096	1,311
0,663	1,540	0,900	0,597	0,865	1,160	0,949	0,821	1,200	0,830	1,100	1,324
0,671	1,520	0,901	0,605	0,894	1,120	0,959	0,858	1,227	0,820	1,114	1,367
0,679	1,500	0,903	0,613	0,927	1,080	0,971	0,900	1,261	0,800	1,133	1,428

Таблица 5. Дифференциальная функция (функция плотности вероятности) закона распределения Вейбулла

$t_c - C$	b						
	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	3,0
0,1	0,91	0,71	0,54	0,39	0,28	0,20	0,03
0,2	0,82	0,75	0,66	0,57	0,47	0,38	0,12
0,3	0,74	0,75	0,72	0,67	0,61	0,55	0,26
0,4	0,67	0,72	0,74	0,73	0,71	0,68	0,45
0,5	0,61	0,68	0,73	0,76	0,78	0,78	0,66
0,6	0,55	0,63	0,70	0,76	0,80	0,84	0,87
0,7	0,50	0,58	0,66	0,73	0,80	0,86	1,04
0,8	0,45	0,53	0,62	0,70	0,77	0,84	0,15
0,9	0,41	0,49	0,57	0,65	0,72	0,80	1,17
1,0	0,37	0,44	0,52	0,59	0,66	0,74	1,10
1,1	0,33	0,40	0,46	0,53	0,59	0,66	0,96
1,2	0,30	0,36	0,41	0,47	0,52	0,57	0,77
1,3	0,27	0,32	0,37	0,41	0,45	0,48	0,56
1,4	0,25	0,29	0,32	0,35	0,38	0,39	0,38
1,5	0,22	0,26	0,28	0,30	0,31	0,32	0,23
1,6	0,20	0,23	0,25	0,25	0,26	0,25	0,13
1,7	0,18	0,20	0,21	0,21	0,21	0,19	0,06
1,8	0,17	0,18	0,18	0,16	0,16	0,14	0,03
1,9	0,15	0,16	0,16	0,14	0,13	0,10	0,01
2,0	0,14	0,14	0,13	0,12	0,10	0,07	0,00
2,1	0,12	0,12	0,11	0,09	0,07	0,05	0,00
2,2	0,11	0,11	0,09	0,05	0,05	0,04	-
2,3	0,10	0,09	0,08	0,06	0,04	0,02	-
2,4	0,09	0,08	0,07	0,05	0,03	0,02	-
2,5	0,08	0,07	0,06	0,04	0,02	0,01	-

Таблица 6. Интегральная функция (функция распределения) закона Вейбулла

$\frac{t_{ис} - C}{a}$	b										
	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
0,1	0,12	0,10	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01
0,2	0,21	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10	0,09	0,07	0,06	0,05	0,05
0,3	0,29	0,26	0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10
0,4	0,35	0,33	0,31	0,28	0,26	0,24	0,22	0,21	0,19	0,18	0,16
0,5	0,41	0,39	0,37	0,35	0,33	0,32	0,30	0,28	0,27	0,25	0,24
0,6	0,47	0,45	0,43	0,42	0,40	0,39	0,37	0,36	0,34	0,33	0,32
0,7	0,52	0,50	0,49	0,48	0,47	0,46	0,44	0,43	0,43	0,41	0,40
0,8	0,56	0,55	0,54	0,54	0,53	0,52	0,51	0,50	0,50	0,49	0,48
0,9	0,60	0,59	0,59	0,59	0,58	0,58	0,57	0,57	0,57	0,56	0,56
1,0	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
1,1	0,66	0,67	0,67	0,67	0,68	0,68	0,68	0,69	0,69	0,70	0,70
1,2	0,69	0,70	0,71	0,71	0,72	0,73	0,73	0,74	0,74	0,75	0,76
1,3	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,76	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81
1,4	0,74	0,75	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85
1,5	0,76	0,78	0,79	0,80	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,89
1,6	0,78	0,80	0,81	0,83	0,84	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91
1,7	0,80	0,82	0,83	0,85	0,86	0,88	0,89	0,90	0,92	0,93	0,94
1,8	0,82	0,84	0,85	0,87	0,88	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95
1,9	0,83	0,85	0,87	0,89	0,90	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97
2,0	0,85	0,87	0,88	0,90	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98
2,1	0,86	0,88	0,90	0,91	0,93	0,74	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98
2,2	0,87	0,89	0,91	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99
2,3	0,88	0,90	0,92	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99
2,4	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	1,00
2,5	0,90	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00
2,6	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00
2,7	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00
2,8	0,92	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00
2,9	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
3,0	0,93	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
3,5	0,95	0,96	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
4,0	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

$\frac{t_{\text{ис}} - C}{a}$	<i>b</i>									
	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
0,1	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,2	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
0,3	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03
0,4	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	0,07	0,07
0,5	0,22	0,21	0,20	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13
0,6	0,30	0,29	0,28	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20
0,7	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30
0,8	0,47	0,47	0,46	0,45	0,44	0,44	0,43	0,42	0,41	0,41
0,9	0,56	0,55	0,55	0,54	0,54	0,54	0,53	0,53	0,53	0,52
1,0	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
1,1	0,70	0,71	0,71	0,71	0,72	0,72	0,72	0,73	0,73	0,73
1,2	0,76	0,77	0,78	0,78	0,79	0,79	0,80	0,81	0,81	0,82
1,3	0,82	0,82	0,83	0,84	0,85	0,85	0,86	0,87	0,88	0,88
1,4	0,86	0,87	0,88	0,89	0,89	0,90	0,91	0,92	0,92	0,93
1,5	0,90	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95	0,96	0,96
1,6	0,92	0,93	0,94	0,95	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98
1,7	0,94	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99
1,8	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00
1,9	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
2,0	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2,1	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2,2	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2,3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2,4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

$\frac{t_{\text{ис}} - C}{a}$	<i>b</i>										
	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0
0,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,2	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,3	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
0,4	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
0,5	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06
0,6	0,19	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12
0,7	0,29	0,28	0,27	0,27	0,26	0,25	0,24	0,23	0,23	0,22	0,21
0,8	0,40	0,39	0,39	0,38	0,37	0,37	0,36	0,35	0,35	0,34	0,34
0,9	0,52	0,51	0,51	0,51	0,50	0,50	0,50	0,49	0,49	0,48	0,48
1,0	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
1,1	0,74	0,74	0,74	0,75	0,75	0,75	0,76	0,76	0,76	0,77	0,77
1,2	0,82	0,83	0,83	0,84	0,84	0,85	0,85	0,86	0,86	0,87	0,87
1,3	0,89	0,90	0,90	0,91	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94
1,4	0,94	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98
1,5	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
1,6	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,7	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,8	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,9	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Таблица 7. Критерий согласия Колмогорова

λ_k	$P(\lambda_k)$	λ_k	$P(\lambda_k)$	λ_k	$P(\lambda_k)$	λ_k	$P(\lambda_k)$
0,00	1,000	0,50	0,964	0,85	0,465	1,40	0,039
0,10	1,000	0,55	0,923	0,90	0,393	1,50	0,022
0,20	1,000	0,60	0,864	0,95	0,328	1,60	0,012
0,30	1,000	0,65	0,795	1,00	0,270	1,70	0,006
0,35	0,999	0,70	0,711	1,10	0,178	1,80	0,003
0,40	0,997	0,75	0,627	1,20	0,112	1,90	0,002
0,45	0,987	0,80	0,544	1,30	0,068	2,00	0,001

Таблица 8. Значения χ^2 в зависимости от r и p

r	P													
	0,99	0,98	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
1	0,000	0,001	0,004	0,016	0,064	0,148	0,455	1,074	1,642	2,71	3,84	5,41	6,64	10,83
2	0,020	0,040	0,103	0,211	0,446	0,713	1,386	2,41	3,22	4,60	5,99	7,82	9,21	13,82
3	0,115	0,185	0,352	0,584	1,005	1,424	2,37	3,66	4,64	6,25	7,82	9,84	11,34	16,27
4	0,297	0,429	0,711	1,064	1,649	2,20	3,36	4,88	5,99	7,78	9,49	11,67	13,28	18,46
5	0,554	0,752	1,145	1,610	2,34	3,00	4,35	6,06	7,29	9,24	11,07	13,39	15,09	20,5
6	0,872	1,134	1,635	2,20	3,07	3,83	5,35	7,23	8,56	10,64	12,59	15,03	16,81	22,5
7	1,239	1,564	2,17	2,83	3,82	4,67	6,35	838	9,80	12,02	14,07	16,62	18,48	24,3
8	1,646	2,03	2,73	3,49	4,59	5,53	7,34	9,52	11,03	13,36	15,51	18,17	20,1	26,1
9	2,09	2,53	3,32	4,17	5,38	6,39	8,34	10,66	12,24	14,68	16,92	19,68	21,7	27,9
10	2,56	3,06	3,94	4,86	6,18	7,27	9,34	11,78	13,44	15,99	18,31	21,2	23,2	29,6
11	3,05	3,61	4,58	5,58	6,99	8,15	10,34	12,90	14,63	17,28	19,68	22,6	24,7	31,3
12	3,57	4,18	5,23	6,30	7,81	9,03	11,34	14,01	15,81	18,55	21,0	24,1	26,2	32,9
13	4,11	4,76	5,89	7,04	8,63	9,93	12,34	15,12	16,98	19,81	22,4	25,5	27,7	34,6
14	4,66	5,37	6,57	7,79	9,47	10,82	13,34	16,22	18,15	21,1	23,7	26,9	29,1	36,1
15	5,23	5,98	7,26	8,55	10,31	11,72	14,34	17,32	19,31	22,3	25,0	28,3	30,6	37,7
16	5,81	6,61	7,96	9,31	11,15	12,62	15,34	18,42	20,5	23,5	26,3	29,6	32,0	39,3
17	6,41	7,26	8,67	10,08	12,00	13,53	16,34	19,51	21,6	24,8	27,6	31,0	33,4	40,8
18	7,02	7,91	9,39	10,86	12,86	14,44	17,34	20,6	22,8	26,0	28,9	32,3	34,8	42,3
19	7,63	8,57	10,11	11,65	13,72	15,35	18,34	21,7	23,9	27,2	30,1	33,7	36,2	43,8
20	8,26	9,24	10,85	12,44	14,58	16,27	19,34	22,8	25,0	28,4	31,4	35,0	37,6	45,3
21	8,90	9,92	11,59	13,24	15,44	17,18	20,3	23,9	26,2	29,6	32,7	36,3	38,9	46,8
22	9,54	10,60	12,34	14,04	16,31	18,10	21,3	24,0	27,3	30,8	33,9	37,7	40,3	48,3
23	10,20	11,29	13,09	14,85	17,19	19,02	22,3	26,0	28,4	32,0	35,2	39,0	41,6	49,7
24	10,86	11,99	13,85	15,66	18,06	19,94	23,3	27,1	29,6	33,2	36,4	40,3	43,0	51,2
25	11,52	12,70	14,61	16,47	18,94	20,9	24,3	23,2	30,7	34,4	37,7	41,7	44,3	52,6
26	12,20	13,41	15,38	17,29	19,82	21,8	25,3	29,2	31,8	35,6	38,9	42,9	45,6	54,1
27	12,88	14,12	16,15	18,11	20,7	22,7	26,3	30,3	32,9	36,7	40,1	44,1	47,0	55,5
28	13,56	14,85	16,93	18,94	21,6	23,6	27,3	31,4	34,0	37,9	41,3	45,4	48,3	56,9
29	14,26	15,57	17,71	19,77	22,5	24,6	28,3	32,5	35,1	39,1	42,6	46,7	49,6	58,3
30	14,95	16,31	18,19	20,6	23,4	25,5	29,3	33,5	36,2	40,3	43,8	48,0	50,9	59,7

Таблица 9. Коэффициенты t_{β} , r_1 и r_3 для двусторонних доверительных границ

N	$\beta=0,60$			$\beta=0,80$			$\beta=0,90$			$\beta=0,95$		
	t_{β}	r_1	r_3	t_{β}	r_1	r_3	t_{β}	r_1	r_3	t_{β}	r_1	r_3
3	1,06	1,95	0,70	1,89	2,73	0,57	2,92	3,66	0,48	4,30	4,85	0,42
4	0,98	1,74	0,73	1,64	2,29	0,60	2,35	2,93	0,52	3,18	3,67	0,46
5	0,94	1,62	0,75	1,53	2,05	0,62	2,13	2,54	0,55	2,78	3,07	0,49
6	0,92	1,54	0,76	1,48	1,90	0,65	2,02	2,29	0,57	2,57	2,72	0,51
7	0,91	1,48	0,77	1,44	1,80	0,67	1,94	2,13	0,59	2,45	2,48	0,54
8	0,90	1,43	0,78	1,42	1,72	0,68	1,90	2,01	0,61	2,37	2,32	0,56
9	0,89	1,40	0,79	1,40	1,66	0,69	1,86	1,91	0,63	2,31	2,18	0,57
10	0,88	1,37	0,80	1,38	1,61	0,70	1,83	1,83	0,64	2,26	2,09	0,59
11	0,88	1,35	0,80	1,37	1,57	0,70	1,81	1,78	0,64	2,23	2,00	0,60
12	0,88	1,33	0,81	1,36	1,53	0,71	1,80	1,73	0,65	2,20	1,94	0,61
13	0,87	1,31	0,81	1,36	1,50	0,73	1,78	1,69	0,66	2,18	1,88	0,62
14	0,87	1,29	0,83	1,35	1,48	0,74	1,77	1,65	0,67	2,16	1,83	0,63
15	0,87	1,28	0,83	1,35	1,46	0,74	1,76	1,62	0,68	2,15	1,79	0,64
20	0,86	1,24	0,85	1,33	1,37	0,77	1,73	1,51	0,72	2,09	1,64	0,67
25	0,86	1,21	0,86	1,32	1,33	0,79	1,71	1,44	0,74	2,06	1,55	0,70
30	0,85	1,18	0,87	1,31	1,29	0,80	1,70	1,39	0,76	2,04	1,48	0,72
40	0,85	1,16	0,88	1,30	1,24	0,83	1,68	1,32	0,78	2,02	1,40	0,75
50	0,85	1,14	0,89	1,30	1,21	0,84	1,68	1,28	0,80	2,01	1,35	0,77
60	0,85	1,12	0,90	1,30	1,19	0,86	1,67	1,25	0,82	2,00	1,31	0,79
80	0,85	1,10	0,91	1,29	1,16	0,87	1,66	1,21	0,84	1,99	1,27	0,81
100	0,85	1,09	0,92	1,29	1,14	0,88	1,66	1,19	0,86	1,98	1,23	0,83

Таблица 10. Квантили закона распределения Вейбулла H_k^e

$F(t);$ ΣP_i	b							
	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06
0,03	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08	0,10	0,11
0,05	0,04	0,05	0,07	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16
0,07	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19
0,10	0,08	0,11	0,13	0,15	0,18	0,20	0,22	0,25
0,15	0,14	0,17	0,19	0,23	0,25	0,29	0,30	0,33
0,20	0,19	0,22	0,26	0,29	0,32	0,34	0,37	0,39
0,25	0,25	0,29	0,33	0,36	0,39	0,41	0,44	0,46
0,30	0,32	0,36	0,39	0,42	0,45	0,48	0,50	0,53
0,35	0,40	0,44	0,47	0,50	0,53	0,55	0,57	0,59
0,40	0,47	0,51	0,54	0,57	0,60	0,62	0,64	0,66
0,45	0,57	0,60	0,63	0,66	0,68	0,69	0,71	0,73
0,50	0,67	0,69	0,72	0,74	0,75	0,77	0,78	0,80
0,55	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85	0,85	0,86	0,87
0,60	0,91	0,92	0,92	0,93	0,94	0,94	0,94	0,95
0,65	1,07	1,06	1,05	1,05	1,04	1,04	1,03	1,03
0,70	1,23	1,20	1,18	1,17	1,15	1,14	1,13	1,13
0,75	1,45	1,40	1,36	1,33	1,30	1,27	1,25	1,23
0,80	1,70	1,61	1,54	1,49	1,44	1,41	1,37	1,35
0,85	2,11	1,96	1,84	1,74	1,67	1,61	1,55	1,51
0,90	2,53	2,30	2,13	2,00	1,90	1,81	1,74	1,68
0,93	2,96	2,66	2,43	2,26	2,12	2,01	1,92	1,84
0,95	3,38	3,00	2,71	2,49	2,33	2,19	2,08	1,99
0,97	4,03	3,51	3,13	2,84	2,63	2,45	2,31	2,19
0,99	5,46	4,60	4,01	3,57	3,24	2,98	2,77	2,60

$F(t);$ ΣP_i	b							
	1,7	1,8	1,9	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
0,01	0,07	0,08	0,09	0,10	0,16	0,22	0,27	0,31
0,03	0,13	0,14	0,16	0,18	0,25	0,31	0,37	0,42
0,05	0,17	0,19	0,21	0,23	0,31	0,37	0,43	0,48
0,07	0,21	0,23	0,25	0,27	0,35	0,42	0,47	0,52
0,10	0,27	0,29	0,31	0,33	0,41	0,47	0,53	0,57
0,15	0,35	0,38	0,40	0,42	0,50	0,56	0,60	0,63
0,20	0,41	0,44	0,45	0,47	0,55	0,61	0,65	0,69
0,25	0,48	0,50	0,52	0,54	0,61	0,66	0,70	0,73
0,30	0,55	0,56	0,58	0,60	0,66	0,71	0,75	0,77
0,35	0,61	0,62	0,64	0,66	0,71	0,75	0,79	0,81
0,40	0,67	0,69	0,70	0,72	0,76	0,80	0,83	0,85
0,45	0,74	0,75	0,76	0,76	0,81	0,84	0,86	0,88
0,50	0,81	0,82	0,83	0,83	0,86	0,89	0,90	0,91
0,55	0,88	0,89	0,90	0,90	0,91	0,93	0,94	0,95
0,60	0,95	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98
0,65	1,03	1,03	1,03	1,03	1,02	1,02	1,02	1,02
0,70	1,12	1,11	1,10	1,10	1,08	1,06	1,05	1,05
0,75	1,22	1,21	1,20	1,18	1,14	1,11	1,10	1,09
0,80	1,32	1,30	1,29	1,27	1,21	1,17	1,15	1,13
0,85	1,47	1,45	1,32	1,39	1,31	1,25	1,21	1,18
0,90	1,63	1,59	1,55	1,52	1,40	1,32	1,27	1,23
0,93	1,78	1,72	1,67	1,63	1,48	1,39	1,32	1,28
0,95	1,91	1,84	1,78	1,73	1,55	1,44	1,37	1,32
0,97	2,09	2,01	1,94	1,87	1,65	1,52	1,43	1,37
0,99	2,46	2,34	2,23	2,15	1,84	1,66	1,55	1,46

Практическая работа № 2.

Определение назначенного срока службы и ресурса машины

1. Общие сведения о назначенном сроке службы и ресурсе машины

Назначенные показатели относятся к показателям безопасности и определяют период эксплуатации (хранения) объекта, в течение которого не должно произойти его критического отказа (потери свойств) с вероятностью, близкой к единице. Значение вероятности безотказной работы в течение назначенных показателей характеризует безопасность объекта и должно учитываться при оценке риска объекта (системы, в которую входит объект).

К назначенным показателям относят:

Назначенный ресурс до ремонта определенного вида – это суммарная наработка, при достижении которой эксплуатация объекта должна быть прекращена независимо от его технического состояния и объект направлен в ремонт определенного вида.

Назначенный ресурс до списания – это суммарная наработка, при достижении которой эксплуатация объекта должна быть прекращена независимо от его технического состояния и объект списан.

Назначенный срок службы до ремонта определенного вида – это календарная продолжительность эксплуатации, при достижении которой эксплуатация объекта должна быть прекращена независимо от его технического состояния и объект направлен в ремонт определенного вида.

Назначенный срок службы до списания – это календарная продолжительность эксплуатации, при достижении которой эксплуатация объекта должна быть прекращена независимо от его технического состояния и объект списан.

Назначенный срок хранения до списания – это календарная продолжительность хранения, при достижении которой хранение объекта должно быть прекращено независимо от его технического состояния и объект списан.

Критический отказ – это отказ объекта или его элемента, тяжесть последствий которого в пределах данного анализа признана недопустимой и требует принятия специальных мер по снижению вероятности данного отказа и/или возможного ущерба, связанного с его возникновением.

Критическое предельное состояние – это состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима из-за возможности наступления критического отказа

При установлении назначенных показателей выполняют комплекс работ, проводимых разработчиком и заказчиком объекта, по результатам которых в ТЗ и КД на объект устанавливают номенклатуру и значения назначенных показателей.

При продлении назначенных показателей выполняют комплекс работ по определению возможности эксплуатации объекта за пределами установленных в ТЗ и КД значений назначенных показателей, разработке и реализации мероприятий по обеспечению эксплуатации (хранения) объектов на продлеваемый период (с установлением новых назначенных показателей).

К работам по продлению назначенных показателей, по решению экспертной организации, могут привлекаться разработчики и изготовители объектов и другие специализированные организации.

Назначенные показатели должны обеспечивать возможность своевременного проведения мероприятий по поддержанию требуемого технического уровня и качества объектов, планированию заказов и поставок объектов, ЗИП к ним, а также принудительному прекращению эксплуатации объектов, исходя из требований безопасности для жизни и здоровья людей, охраны окружающей среды или технико-экономических показателей.

По результатам работ по определению возможности продления назначенных показателей, эксплуатирующей организацией, на основании рекомендаций исполнителя работ, принимается одно из решений:

1) продолжить эксплуатацию объекта в тех же условиях эксплуатации (провести переконсервацию объекта, находящегося на хранении) с установлением новых назначенных показателей;

2) продолжить эксплуатацию объекта с ограничением условий эксплуатации с установлением новых назначенных показателей;

3) направить объект в ремонт;

4) направить объект на доработку (реконструкцию);

5) использовать объект по иному назначению;

6) вывести объект из эксплуатации (списать).

2. Порядок установления назначенных показателей

Назначенные показатели устанавливаются для объектов:

- отказы которых могут приводить к тяжелым последствиям (с высокими значениями риска);
- контроль технического состояния которых, по критериям критического предельного состояния в процессе эксплуатации или хранения, по условиям эксплуатации, невозможен или затруднен (невосстанавливаемые объекты);
- критическое предельное состояние которых невозможно определить из-за отсутствия диагностических средств обнаружения критического предельного состояния, предшествующего критическому отказу.

Назначенные показатели устанавливаются на этапе проектирования объекта, обеспечиваются на этапе изготовления, подтверждаются в процессе постановки объекта на производство, реализуются и подтверждаются в процессе эксплуатации.

При выборе номенклатуры и значений назначенных показателей, в общем случае, исходят из назначения объектов, физических принципов их работы, конструктивных и технологических особенностей, условий и режимов эксплуатации, прогнозируемых технического уровня, качества и надежности, а также опыта эксплуатации прототипов и аналогов изделий.

Назначенные показатели задаются в ТЗ на выполнение ОКР и на основе результатов ОКР вносятся в КД (ТУ на объект и ЭД).

В общем случае к назначенным показателям относятся:

- назначенные показатели ресурса ($T_{р.н.}$, $T_{р.н.р.}$, $T_{р.н.сп.}$);
- назначенные показатели срока службы ($T_{сл.н.}$, $T_{сл.н.р.}$, $T_{сл.н.сп.}$);
- назначенные показатели срока хранения ($T_{хр.н.}$, $T_{хр.н.пк.}$, $T_{хр.н.сп.}$);

По согласованию между заказчиком и разработчиком объектов, наряду с общей номенклатурой назначенных показателей, допускается использование иных назначенных показателей, учитывающих специфику конкретных видов объектов.

Выбор номенклатуры назначенных показателей осуществляют на основе классификации объектов по следующим признакам:

- характеру основных процессов, определяющих переход объектов в предельное состояние;
- наличию для объектов данных о динамике технического состояния и надежности их аналогов и прототипов в процессе эксплуатации;
- возможности восстановления ресурса (срока службы) объектов;

- возможности проведения плановых ремонтов определенного вида;
- способу проведения плановых ремонтов определенного вида;
- критичности для объектов внешних воздействующих факторов (механических, климатических и других).

По характеру основных процессов, определяющих переход в предельное состояние, объекты подразделяют на:

- стареющие – подвергающиеся воздействию процессов, протекающих во времени: старение материала, эрозия, коррозия, климатические воздействия;
- стареющие и изнашиваемые – в которых наряду с процессами, протекающими во времени, имеют место процессы износа отдельных узлов и деталей, связанные с их взаимным перемещением (совершением циклов срабатывания, пробегом и др.).

По возможности получения информации о динамике технического состояния объекта (диагностирования наступления предельного состояния по его критериям), по наличию данных о динамике технического состояния и надежности аналогов и прототипов, объекты подразделяют на:

- имеющие данные о динамике технического состояния и надежности объекта, либо его аналогов и прототипов;
- не имеющие данных о динамике технического состояния и надежности объекта либо его аналогов и прототипов.

По возможности восстановления ресурса (срока службы) объектов их подразделяют на:

- восстанавливаемые;
- невосстанавливаемые.

Возможность восстановления (восстанавливаемость объекта) зависит от доступа к нему для его ремонта или замены на месте эксплуатации.

По возможности проведения плановых ремонтов определенного вида, связанной с конструкцией объекта, позволяющей производить его ремонт либо делающей ремонт экономически нецелесообразным или невозможным, объекты подразделяют на:

- неремонтируемые,
- ремонтируемые.

По способу проведения плановых ремонтов объекты определенного вида подразделяют на:

- ремонтируемые обезличенным способом;
- ремонтируемые не обезличенным способом.

Внешние воздействующие факторы (механические, климатические и др.) по критичности для объектов подразделяют на:

- критичные;
- некритичные.

Для объектов может быть установлено несколько назначенных показателей каждого вида из числа показателей, конкретизированных видом технического решения.

Назначенные показатели (срок службы, ресурс) до капитального ремонта устанавливаются для ремонтируемых объектов, в составе которых имеются подлежащие замене (ремонту) изделия (узлы, детали) с известным сроком службы (ресурсом), значения которого меньше, чем у объекта в целом и отказы которых приводят к критическому отказу объекта.

Назначенный срок хранения (в том числе до списания, до переконсервации) устанавливают для объектов, переход которых в критическое предельное состояние возможен в результате процессов старения.

Назначенный срок хранения устанавливают для объектов при отсутствии данных о динамике технического состояния и надежности их аналогов и прототипов в условиях хранения.

Назначенный срок хранения до списания устанавливают для объектов при наличии данных о динамике технического состояния и надежности их аналогов и прототипов в условиях хранения.

Назначенный срок хранения до переконсервации устанавливают для объектов, при консервации которых используются материалы и вещества, назначенный срок службы (срок защиты) которых меньше назначенного срока хранения до списания объектов.

Значения назначенных показателей составных частей, комплектующих объект, материалов и веществ, применяемых в объекте, устанавливают в зависимости от восстанавливаемости и ремонтируемости объекта в целом.

В обособленных случаях, по согласованию с заказчиком, в составе восстанавливаемых и (или) ремонтируемых объектов могут находиться составные части, комплектующие объект, материалы и вещества из числа заменяемых или входящих в резервные группы, на которые установлены назначенные показатели со значениями, меньшими одноименных показателей на объект в целом. В этом случае в ТЗ и КД на объекты, в том числе в ТУ и ЭД, приводится перечень таких составных частей, комплектующих объект, материалов и веществ с указанием значений назначенных показателей.

На невосстанавливаемый и (или) неремонтируемый объект в целом должны быть установлены значения назначенных показателей, соответствующие значениям аналогичных показателей, установленных на составные части, комплектующие объектов, материалы и вещества.

При необходимости, по согласованию с заказчиком, для различных режимов и условий эксплуатации в КД устанавливают соответствующие им значения назначенных показателей и приводят отличительные характеристики этих режимов и условий.

По решению разработчика, согласованному с заказчиком и изготовителем объекта, допускается устанавливать предварительные значения отдельных назначенных показателей с указанием этапа разработки, производства или эксплуатации, на которых должны быть уточнены значения показателей. В этом случае работы по уточнению значений назначенных показателей включаются в программы обеспечения надежности объектов, разрабатываемые для соответствующих этапов разработки объекта или в другие программные документы, например, в программу поддержания (повышения) надежности, в соответствии с действующими НД по видам объектов.

После установления назначенных показателей должна быть проведена верификация (валидация) объекта в части обеспечения безотказности, близкой к единице в течение назначенных показателей и удовлетворяющей требованиям заказчика.

3. Качественная оценка обеспечения безотказности в течение назначенных показателей на этапе проектирования (разработки)

В общем случае, на этапе проектирования (разработки) исключение или минимизацию вероятности наступления критического отказа объекта в течение назначенных показателей разработчик обеспечивает:

- созданием конструкции, в том числе выбором составных частей, комплектующих изделий, узлов, деталей, материалов и веществ, сохраняющих для заданных параметров и условий эксплуатации основные показатели надежности в пределах требуемых значений назначенных показателей;
- проведением комплекса расчетов конструкции, основанных на верифицированных в установленном порядке методиках;
- проведением необходимых теоретических и экспериментальных исследований с использованием результатов расчетов, испытаний де-

талей, узлов, макетов, опытных и серийных образцов (в том числе ускоренными методами), подконтрольной эксплуатацией объектов, а также результатами эксплуатации аналогов и прототипов объектов;

- разработкой (выбором) технологии изготовления объектов, обеспечивающей полную реализацию конструктивных решений;

- соблюдением правил постановки продукции на производство;

- установлением в ЭД требований к условиям эксплуатации объектов, регламентирующих безотказную работу объекта;

- учетом в ТД необходимых доработок и ремонтов изделий согласно требованиям соответствующих конструкторских и ремонтных документов, а также учетом результатов авторского и технического надзоров в процессе эксплуатации;

- проведением анализа видов, последствий и критичности отказов (АВПКО), с принятием необходимых конструкторских решений, направленных на максимально возможное снижение вероятности их возникновения (минимизацию риска). АВПКО выполняют в соответствии с ГОСТ 27.310 или другими действующими НД. Рекомендуемые НД по АВПКО.

В результате разработки и проведения АВПКО объекта безопасность в отношении различных возможных видов опасности, связанных с критическими отказами в течение назначенных показателей, должна быть обеспечена, в том числе: механической, термической, химической, электрической, взрывоопасности, пожарной, промышленной.

Меры по обеспечению безопасности определяются в зависимости от особенности конструкции объекта и условий его применения.

Верификация (валидация) объекта в части безотказности проводится путем анализа выполнения мероприятий. При выполнении указанных мер можно считать, что вероятность безотказной работы проектируемого объекта в течение назначенных показателей будет близка к единице.

4. Количественная оценка обеспечения безотказности в течение назначенных показателей на этапе проектирования (разработки)

При необходимости количественной оценки обеспечения безотказности в течение назначенных показателей (верификации (валидации) значений безотказности) производится расчет вероятности безотказной

работы (ВБР) объекта, исчисленной по критическим отказам в течение назначенных показателей.

Полученные значения вероятности безотказной работы сравнивают с требованиями заказчика.

В случае если значения ВБР не удовлетворяют требованиям заказчика производится анализ причин несоответствия и повторная доработка объекта и комплектующих его узлов, с целью обеспечения требуемой безотказности.

Если результаты этой работы не позволяют решить поставленную задачу без существенного усложнения конструкции объекта, снижения других его характеристик, параметров применения, стоимости и др., эта информация должна быть доведена до заказчика для принятия одного из решений:

- согласие с полученным более низким уровнем безотказности при обеспечении требуемой безотказности системы собственными мерами: резервирование объекта, мерами, направленными на снижение тяжести последствий от потенциально возможного критического отказа объекта;

- согласие с достигнутым требуемым уровнем безопасности с учетом осуществленных доработок конструкции, снижения параметров ее применения;

- поиск других путей по достижению требуемых показателей безотказности (например: привлечение другого проектанта объекта, использование объекта другого типа).

5. Обеспечение назначенных показателей при изготовлении

В целях обеспечения допустимого значения вероятности наступления отказа в течение назначенных показателей на этапе изготовления (производства) объекта изготовитель:

- а) обеспечивает соответствие изготовления объекта требованиям проектной (конструкторской) документации;

- б) выполняет контроль всех технологических операций изготовления деталей (узлов, комплектующих объект), от которых зависит критический отказ;

- в) проводит испытания объекта, предусмотренные проектной (конструкторской) документацией.

Назначенные показатели объектов могут подтверждаться:

- испытаниями, проводимыми в составе приемочных, квалификационных или периодических испытаний;
- данными эксплуатационной статистики;
- результатами анализа действующих на предприятии технологических процессов (технологических операций изготовления и операций технического контроля) и системы качества, в части обеспечения ими требуемых показателей безопасности (далее - оценкой технологического процесса).

Для подтверждения заданных высоких значений показателей безотказности испытаниями требуется:

- большое количество изделий, которые необходимо подвергнуть ресурсным испытаниям на рабочих параметрах, в течение времени, на которое заданы назначенные показатели.

- длительный промежуток времени с момента изготовления изделий, что не позволяет определить безотказность изделия непосредственно в момент выпуска и в других условиях эксплуатации.

- результатами анализа действующих на предприятии технологических процессов не требуется большое количество объектов, которые необходимо подвергнуть ресурсным испытаниям, больших объемов ресурсных испытаний и ожидания результатов эксплуатации объектов.

Оценка технологического процесса осуществляется изготовителем или, по согласованию с ним, представителями заказчика, экспертной организацией или разработчиком объекта, имеющими необходимую квалификацию, знающими конструкцию объекта, технические условия на изделие и технологический процесс его изготовления.

В основу оценки обеспечения технологическим процессом требований к безотказности положен анализ технологических операций, в процессе которых могут иметь место несоответствия (дефекты), приводящие к критическому отказу объекта, и контрольных операций, при выполнении которых эти несоответствия (дефекты) могут быть обнаружены.

В качестве основных причин появления несоответствий (дефектов) рассматриваются "сбои" в работе оборудования и ошибки, допущенные персоналом при выполнении технологических и контрольных операций.

Работы по оценке возможности обеспечения технологическим процессом заданных требований к безотказности объекта должны проводиться по программе, которая должна предусматривать:

1) анализ видов, последствий и критичности отказов (АВПКО), исходя из условий эксплуатации объекта, с выделением критических отказов, вероятность невозникновения которых (вероятность безотказной работы объекта) должна обеспечиваться технологическим процессом предприятия-изготовителя. Анализ видов, последствий и критичности отказов проводится в соответствии с действующими НД (например, ГОСТ 27.310);

2) анализ конструкции объекта, в том числе комплекта КД, ТУ, программы и методики испытаний, ЭД;

3) анализ технологического процесса с выделением технологических и контрольных операций, влияющих на возможное проявление несоответствий (дефектов) у объекта, являющихся причиной возникновения выделенных критических отказов;

4) анализ статистической информации о браке, в части несоответствий (дефектов), выявленном в процессе производства и по данным эксплуатационной статистики;

5) проведение расчета вероятности безотказной работы объекта, обеспечиваемой технологическим процессом изготовления;

6) проведение сравнительного анализа заданных требований к показателям безотказности объекта и расчетных показателей безотказности, обеспечиваемых технологическим процессом изготовления;

7) выдача заключения по результатам работ с выводом о возможности обеспечения требований к безотказности объекта технологическим процессом изготовления и разработкой, при необходимости, рекомендаций по внесению необходимых изменений в технологический процесс и (или) конструкцию объекта с целью повышения его безотказности.

6. Контроль достижения назначенных показателей при эксплуатации

В процессе эксплуатации должен осуществляться учет наработки (срока службы, срока хранения) составных частей, комплектующих объектов, материалов и веществ, для которых установлены назначенные показатели.

Если в состав объектов входят резервированные составные части, комплектующие объектов, для которых установлены назначенные ресурс или срок службы, соответствующие назначенные показатели для объектов в целом должны устанавливаться с учетом характера расхо-

дования ресурса (срока службы) составными частями и комплектующими объектов, входящими в резервную группу.

При установлении значений назначенных показателей должны быть определены требования к методам, техническим средствам и точности измерения наработки.

При определении израсходованной части назначенного ресурса руководствуются следующими требованиями:

- наработку объекта исчисляют с момента его приемки на предприятии-изготовителе или на ремонтном предприятии (для объектов, прошедших ремонт с частичным или полным восстановлением ресурса) и далее нарастающим итогом на всех последующих стадиях и этапах жизненного цикла объекта;

- в суммарную наработку объекта включают его наработку при приемо-сдаточных испытаниях (если иное не оговорено в КД на объект). Наработку при приемо-сдаточных испытаниях вносят в формуляр и (или) паспорт объекта, которую заверяет представитель заказчика или уполномоченный член приемочной комиссии.

При определении израсходованной части назначенного срока службы руководствуются следующими требованиями:

- срок службы объекта исчисляют с момента ввода объекта в эксплуатацию, документально оформленного в установленном порядке;

- срок службы составных частей, комплектующих объект, материалов и веществ, входящих в состав объекта (комплекса, системы), исчисляют с момента ввода в эксплуатацию объекта (комплекса, системы);

- если момент ввода в эксплуатацию отдельных составных частей, комплектующих, материалов и веществ предшествует моменту ввода в эксплуатацию объектов (комплекса, системы) вследствие особенностей технологии его изготовления, то в формуляры и (или) паспорта на объект (комплекс, систему) и на входящие в его состав элементы при вводе объекта (комплекса, системы) в эксплуатацию вносят данные об израсходованной части назначенного срока службы соответствующими составными частями, комплектующими объект, материалами и веществами.

При определении израсходованной части назначенного срока хранения руководствуются следующими требованиями:

- срок хранения объекта исчисляют с момента начала его хранения, которое должно быть организовано в соответствии с требованиями

действующих НД и документально оформлено в установленном порядке;

- календарное время, прошедшее с момента приемки объекта представителем заказчика на предприятии-изготовителе до момента ввода объекта в эксплуатацию, следует рассматривать как израсходованную часть назначенного срока хранения объекта. В этот период должно быть организовано хранение объекта в соответствии с требованиями действующих НД или объект должен быть установлен (вмонтирован) и храниться в составе объекта более высокого уровня разукрупнения. Количественное значение израсходованной части назначенного срока хранения за рассматриваемый период определяют с учетом фактических условий хранения по согласованию с заказчиком, разработчиком и изготовителем объекта. При вводе объекта в эксплуатацию в формуляр и (или) паспорт вносят данные об израсходованной части назначенного срока хранения;

- в течение календарного времени проведения заводских ремонтов объекта (комплекса, системы) входящие в его состав детали, для которых не предусмотрено проведение ремонта или замены, должны быть изъяты из объекта (комплекса, системы) и организовано их хранение в соответствии с требованиями действующих НД. При невозможности или нецелесообразности изъятия деталей из объекта (комплекса, системы) на время ремонта последней детали следует считать хранящимися в составе объекта (комплекса, системы). Количественное значение израсходованной части назначенного срока хранения деталей в составе объекта (комплекса, системы) за время его ремонта определяют с учетом фактических условий хранения по согласованию с заказчиками, разработчиками и изготовителями деталей. При вводе объекта (комплекса, системы) в эксплуатацию после ремонта в формуляры и (или) паспорта объекта (комплекса, системы) и деталей вносят данные об израсходованной части назначенного срока хранения.

7. Порядок продления назначенных показателей

Продление назначенных показателей проводят для отдельных объектов определенного типа или группы, объединенных по конструкции, предприятию-изготовителю и периоду изготовления или ввода в эксплуатацию.

Работы по продлению назначенных показателей проводят для наиболее полного использования физических ресурсов долговечности

и сохраняемости объектов без снижения требований безопасности для жизни и здоровья людей, охраны окружающей среды с целью экономии материальных и финансовых средств.

Порядок продления назначенных показателей объектов включает следующие основные этапы:

1) установление необходимости проведения работ по определению возможности продления;

2) подачу и рассмотрение заявки на проведение работ по определению возможности продления назначенных показателей и прилагаемых к ней документов;

3) разработку, согласование и утверждение программы работ;

4) проведение работ, предусмотренных программой, анализ полученной информации и результатов, выработку технического решения о возможности продления;

5) составление и оформление заключения о возможности продления назначенных показателей в установленном порядке;

6) подготовку одного из указанных в 5.5 настоящего стандарта решений о возможности продления назначенных показателей и, при необходимости, плана корректирующих мероприятий по обеспечению безопасной эксплуатации объекта на продлеваемый период;

7) проведение организацией, эксплуатирующей объект корректирующих мероприятий, предусмотренных решением о возможности продления назначенных показателей;

8) производственный контроль за выполнением корректирующих мероприятий.

Работы по продлению назначенных показателей планируют и проводят с учетом следующих уровней разукрупнения изделий:

- объекты (системы, комплексы) в целом;

- составные части (узлы);

- комплектующие;

- материалы и вещества.

В каждом конкретном случае состав уровней разукрупнения объектов, на которых планируют и проводят необходимые исследования, определяют на этапе разработки программы работ по продлению назначенных показателей с учетом:

- тяжести последствий принятия ошибочного решения на продление назначенных показателей объекта (комплекса, системы) данного конструктивного уровня разукрупнения, при котором ими могут быть

достигнуты предельные состояния при применении последнего по назначению или хранению;

- фактического технического состояния объекта (комплекса, системы) данного конструктивного уровня разукрупнения, оцениваемого по совокупности всей имеющейся априорной информации на период планирования работ (в том числе по результатам авторского и технического надзоров);

- остаточных значений назначенных показателей объекта (комплекса, системы) данного конструктивного уровня разукрупнения;

- возможных ограничений технического, экономического или организационного характера, препятствующих или существенно затрудняющих проведение необходимых исследований для объектов данного уровня разукрупнения.

При новых значениях назначенных показателей, установленных в результате проведения работ по их продлению, должно быть обеспечено полное соответствие всех технических характеристик объектов требованиям, первоначально установленным в ТД.

В обоснованных случаях допускается снижение отдельных технических характеристик объектов до уровня, определяемого совместным решением экспертной организации и заказчика.

Работы по продлению назначенных показателей, как правило, организует эксплуатирующая организация.

Организации, осуществляющие работы по продлению назначенных показателей:

- проводят оценку технического состояния объекта, составных частей, комплектующих, материалов и веществ;

- совместно с эксплуатирующей организацией проводят испытания составных частей, комплектующих, материалов и веществ;

- проводят обобщение и анализ данных о качестве и надежности объектов по результатам испытаний, информации о рекламациях, техническом состоянии изделий;

- проводят анализ статистических данных о надежности объектов, результатов оценки технического состояния изделий и их испытаний;

- проводят прогнозирование технического состояния и надежности объектов;

- осуществляют выработку технического решения о возможности и целесообразности продления назначенных показателей объектов;

- разрабатывают заключения по результатам проведенных работ.

Конкретное содержание и объем работ определяются программой и планами-графиками работ.

Работы по продлению назначенных показателей должны быть спланированы и проведены таким образом, чтобы решение о возможности продления срока эксплуатации объектов было выработано до достижения ими установленных значений назначенных показателей.

Программа работ по продлению назначенных показателей разрабатывается организацией, осуществляющей работы, и согласовывается заказчиком работ. В программе, в общем случае, предусматривают следующие виды работ:

- разработка, при необходимости, организационно-методических документов по выполнению отдельных работ по продлению назначенных показателей;

- сбор, анализ и обобщение имеющейся на начало работ информации о долговечности и сохраняемости объектов, для которых продлеваются назначенные показатели, а также отечественных и зарубежных объектов аналогичного вида или конструктивно-технологического исполнения;

- оценка технического состояния объектов на местах эксплуатации и ремонта;

- проведение испытаний объектов в целом по специальным программам и методикам и оценке их технического состояния в процессе и после испытаний;

- разборка (демонтаж) объектов на составные части и комплектующие и оценка технического состояния демонтированных с объектов составных частей, комплектующих, материалов и веществ;

- проведение испытаний составных частей, комплектующих, материалов и рабочих веществ по специальным программам и методикам и оценка их технического состояния в процессе и после испытаний;

- прогнозирование технического состояния объектов на продлеваемый период и выработка решения о возможности и целесообразности продления назначенных показателей;

- разработка отчетных документов (частных и итогового заключений) по результатам выполненных работ с планом мероприятий по обеспечению эксплуатации объектов на продлеваемый период.

Разработчик программы работ несет ответственность за полноту планируемых к проведению исследований и обоснованность вырабатываемых на их основе решений на продление назначенных показателей объектов.

В каждом конкретном случае выбор видов работ для включения в программу определяется:

- назначением объектов;
- конструктивно-технологическими особенностями объектов и особенностями их размещения на месте эксплуатации или в системе;
- условиями и режимами эксплуатации и хранения объектов;
- количеством образцов объектов, составляющих эксплуатационный парк;
- фактической и требуемой наработкой, сроком службы, сроком хранения объектов;
- содержанием и объемом априорной информации о динамике технического состояния и надежности объектов, а также их аналогов и прототипов;
- ожидаемыми затратами на выполнение работ по продлению назначенных показателей.

Возможность и целесообразность продления назначенных показателей оценивают на основании:

- исходной и дополнительно полученной информации о надежности и техническом состоянии объектов в течение назначенных ресурса, срока службы, срока хранения;
- результатов прогнозирования надежности и технического состояния объектов на продлеваемый период.

В качестве исходной информации для оценки возможности и целесообразности продления назначенных показателей в общем случае используют следующие данные, получаемые на этапах разработки, изготовления и эксплуатации объектов:

- результаты проведенных работ по обоснованию установленных в КД на объект значений назначенных показателей;
- результаты расчетной, расчетно-экспериментальной и экспериментальной оценки показателей надежности при разработке, испытаниях и по данным эксплуатации в соответствии с ГОСТ 27.301 или другими действующими НД.;
- информацию о новых способах и методах обеспечения надежности объектов;
- данные о проведенных доработках объектов и изменениях технологического процесса их изготовления;
- результаты подконтрольной и (или) опытной эксплуатации, в том числе специально проводимой с целью определения фактических значений ресурса, срока службы, срока хранения объектов;

- данные о надежности, результаты выполненных технических обслуживании и ремонтов, накапливаемые в процессе эксплуатации в соответствии с требованиями действующих нормативных документов по системам информации о надежности объектов.

Для прогнозирования технического состояния объектов применяют методы, основанные:

- на использовании данных об изменении технического состояния и результатов диагностирования составных частей, и комплектующих в процессе эксплуатации;

- на испытаниях демонтированных составных частей, комплектующих, материалов и веществ в лабораторных условиях, в том числе ускоренных.

Методы прогнозирования выбирают с учетом:

- особенностей назначения, принципа действия, конструкции, технологии изготовления объектов, условий и режимов эксплуатации, технического обслуживания и ремонта в процессе эксплуатации;

- содержания, полноты, точности и достоверности находящейся в распоряжении у исполнителя информации о динамике изменения технического состояния объектов во времени и в зависимости от условий и режимов эксплуатации или испытаний;

- требуемой точности и долговечности прогноза.

Отчетные документы по результатам выполненных работ оформляют в виде заключения.

К заключениям должны прилагаться протоколы с результатами измерений технических параметров, проводимых в соответствии с программами и методиками испытаний и оценки технического состояния объектов, и нормами на значения этих параметров, установленными в ЭД на объекты.

В план мероприятий по обеспечению эксплуатации объектов на продлеваемый период допускается включать следующие работы:

- замену составных частей и комплектующих по результатам оценки их технического состояния на части (комплектующие) текущего выпуска или перспективные аналоги перед возобновлением эксплуатации или в процессе эксплуатации;

- проведение ремонта отдельных составных частей и комплектующих перед возобновлением эксплуатации с целью восстановления свойств, утраченных ими в результате износа и хранения;

- переконсервацию объектов, находящихся на хранении;

- уточнение номенклатуры и количества запасных составных частей и комплектующих, находящихся в комплектах ЗИП;
- уточнение объемов и сроков проведения технических обслуживаний и средних ремонтов.

8. Содержание отчета

1. Привести классификацию назначенных сроков эксплуатации и ресурса и их параметры.
2. Привести классификацию объектов по характеру процессов, возможности восстановления и ремонта.
2. Описать порядок установления и продления назначенных показателей.
3. Установить перечень назначенных показателей по заданию преподавателя.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Приведите определения назначенных показателей надежности.
2. Приведите классификацию объектов по характеру процессов, возможности восстановления и ремонта.
3. Опишите порядок установления и продления назначенных показателей.
4. Опишите порядок качественной оценки обеспечения безотказности в течение назначенных показателей на этапе проектирования.
5. Опишите порядок количественной оценки обеспечения безотказности в течение назначенных показателей на этапе проектирования.
6. Опишите порядок обеспечения назначенных показателей при изготовлении изделия.
7. Опишите порядок контроля достижения назначенных показателей при эксплуатации изделия.
8. Опишите порядок продления назначенных показателей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сухарев, Э. А. Эксплуатационная надежность машин: теория, методология, моделирование: учебное пособие / Э. А. Сухарев. – Ровно: НУВХП, 2006. – 191 с.
2. Технологические методы обеспечения надежности деталей машин: учеб. пособие / И.М. Жарский [и др.]. – Минск: Вышэйшая школа, 2005. – 299 с.
3. Ренева, А.Н. Методы оценки износа и стоимости деталей, машин, комплексов : учеб. пособие / А.Н. Ренева, О. В. Тупицына. – Пермь : ИПЦ «Прокрость», 2018. – 121 с.

Практическая работа № 3. Формирование машинного парка и срок службы машин.

Эффективность машин строительного комплекса неразрывно связана с техническим уровнем самих машин и уровнем системы обеспечения их работоспособности.

Эффективность предприятия определяется отношением наработки парка машин (цель, выходной параметр) к затраченным ресурсам (входной параметр). Предприятие, представляет собой производственную, социально-экономическую систему и включает в себя системы более низкого уровня (подсистемы): парк машин (ПМ) и системы обеспечения его функционирования. Предприятие существует за счет использования парка машин: ПМ представляет собой объект воздействия и источник средств существования.

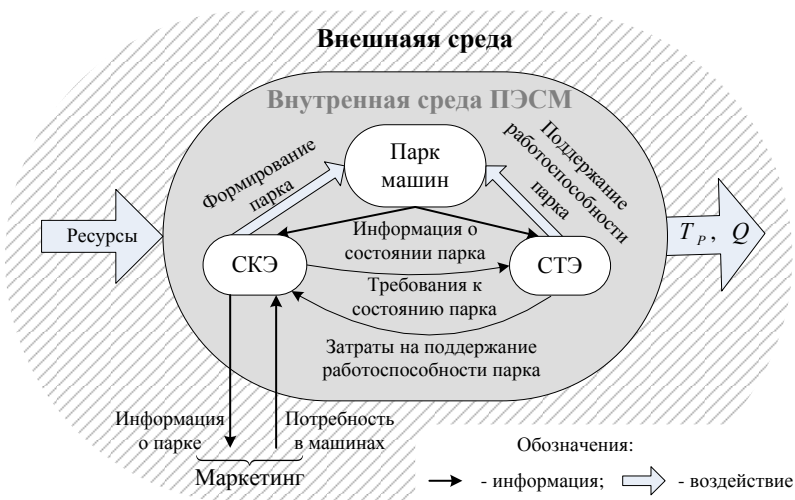


Рис. 1. Системное представление о предприятии:
СКЭ – система коммерческой эксплуатации; СТЭ – система технической эксплуатации; T_p – наработка парка машин за расчетный период;
 Q – объем выполненных работ за расчетный период

ПМ является сложной системой: технической, экономической и социальной. Как техническая система ПМ состоит из отдельных машин и групп машин. Как экономическая система ПМ является активной частью ОПФ предприятия, потребляющей ресурсы и приносящей при-

быль. Как социальная система ПМ является средством труда персонала, выпускающим общественно полезную продукцию и обеспечивающим удовлетворение потребностей персонала.

ПМ существует внутри предприятия, функционирует и реализует цель своего существования за счет предприятия. Положение ПМ внутри предприятия можно сравнить с положением двигателя в автомобиле. Для нормальной работы двигателя требуются системы питания топливом, управления, обслуживания, и система отбора мощности, через которую двигатель «оправдывает» цель своего существования.

Чтобы парк машин мог существовать требуется поддерживать его работоспособность. Эту функцию выполняет *система технической эксплуатации* (СТЭ). Загрузку парка машин работой обеспечивает *система коммерческой эксплуатации* (СКЭ). Таким образом, ПМ, СТЭ и СКЭ – являются основными подсистемами предприятия. Их взаимодействие показано на рис. 1.

Следует учитывать также и влияние производственной эксплуатации, задачей которой является рациональное использование техники на строительных объектах.

В общем случае эффективность использования техники зависит от технико-экономических характеристик машин и качества системы их эксплуатации. В совокупном влиянии на эффективность техники доля сферы эксплуатации составляет 35...40 %. Около 10...15% всех отказов и неисправностей являются следствием некачественного технического обслуживания и ремонта. Поэтому повышение технического уровня мероприятий СТЭ является важным резервом повышения эффективности машинных парков.

1. Критерии для определения оптимального срока службы

Оптимальный срок службы машины может определяться по ряду критериев, связанных с экономическими, техническими, технико-экономическими и прочими ресурсными характеристиками (рис. 2). Динамика характеристик является функцией качества изготовления машины и уровня ее технической эксплуатации (ТЭ).

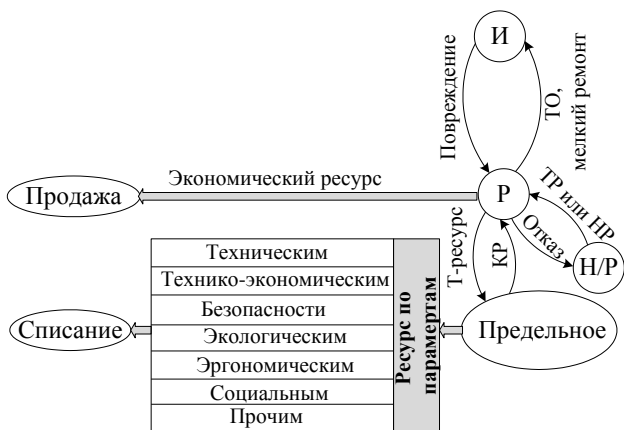


Рис. 2. События, состояния технической системы (граф переходов) и ресурсные характеристики: И – исправное состояние; Р – работоспособное; Н/Р – неработоспособное; ТР, НР, КР – ремонт, соответственно текущий, неплановый, капитальный; Т-ресурс – технический ресурс

Понятие срока службы связано с эффективностью применения машины, представляющей собой отношение результата деятельности к затраченным ресурсам. Результат выражается в единицах выработанной продукции (гектары обработанной площади, тонны перевезенного груза и т.д.) или отработанных мото-часах. Затраченные ресурсы можно разделить на:

- финансовые (амортизационные отчисления, зарплата машинистов, эксплуатационные материалы, технические обслуживания и ремонты, накладные расходы и налоги);
- временные (затраты времени на технические обслуживания и ремонты, на доставку техники, на восстановление работ после внезапно-го отказа техники).

Выделяют оптимальный и максимальный сроки службы. Оптимальный соответствует максимуму эффективности, максимальный срок службы – минимально допустимому ее значению. Остаток до максимального срока службы машины, выраженный в машино-часах, представляет собой остаточный ресурс по экономическим параметрам.

Управление сроками службы машин производится с целью получения заданных показателей функционирования парка техники с учетом условий эксплуатации и системы обеспечения его работоспособности. Показатели могут быть техническими (производительность, объем

выпущенной продукции), надежностными (интенсивность отказов, коэффициент готовности), экономическими (затраты, прибыль, рентабельность) и пр. (см. рис. 2).

2. Определение срока службы по экономическим критериям

Экономически критериями оптимального срока службы могут быть удельные показатели на мото-час: минимум затрат, максимум прибыли. Максимальный срок службы определяется минимально допустимым уровнем рентабельности.

Рассмотрим динамику накопленной за срок службы машины прибыли. По мере старения машины значение выручки будет падать, т.к. будет уменьшаться наработка машины в единицу времени. Затраты же будут возрастать. В течение срока службы суммарная выручка $SB(t) = \sum B(t)$ и суммарные затраты $SZ(t) = \sum Z(t)$ составят суммарную (накопленную) прибыль от эксплуатации машины (рис.3, а):

$$\Pi(t) = -C_M + SB(t) - SZ(t).$$

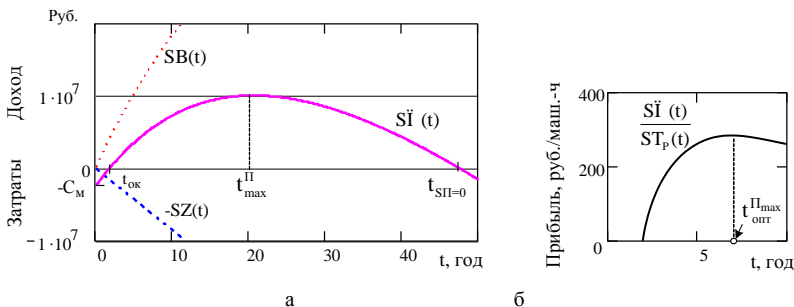


Рис. 3. Динамика накопленной прибыли $\Pi(t)$ (а) и удельной прибыли (б) за срок службы машины: $SB(t)$, $SZ(t)$, $ST_p(t)$ – накопленные выручка, затраты и наработка; C_M – стоимость новой машины; $t_{ок}$ – срок окупаемости; t_{max}^{Π} – срок службы по максимуму накопленной прибыли; $t_{S\Pi=0}$ – срок службы, при котором затраты на поддержание работоспособности машины «съедают» всю прибыль; t_{opt}^{Π} – оптимальный срок службы по максимальному удельной накопленной прибыли

График суммарной прибыли $\Pi(t)$ имеет четыре характерные точки в моменты времени: 0, $t_{ок}$, t_{max}^{Π} и $t_{S\Pi=0}$. При $t=0$ $\Pi(t) = -C_M$. До момента времени окупаемости $t_{ок}$ значение суммарной прибыли остается мень-

шим нуля. Максимум $\Pi(t)$ достигается при t_{\max}^{Π} . В этот момент становятся равными величины годовых выручки и затрат. Эксплуатация машины должна быть прекращена ранее времени t_{\max}^{Π} . Дальнейшее использование машины будет приносить убыток, и к моменту $t_{\text{СП}=0}$ затраты на поддержание работоспособности старой машины «съедят» всю прибыль.

Таким образом, оптимальный срок службы машины находится в интервале времени от $t_{\text{ок}}$ до t_{\max}^{Π} . Более конкретно можно прогнозировать оптимальный срок службы по модели динамики удельной накопленной прибыли (рис. 3, б).

Дополнительную информацию по выбору срока службы может дать анализ уровня рентабельности эксплуатации машины:

$$R(t) = \Pi(t)/Z(t) \geq R_{\min},$$

который является одним из основных экономических показателей. Задавись нижним значением R_{\min} , например 0,3 (рис. 1.20), получаем максимальный срок службы t_{\max}^R по условию нижнего предела уровня рентабельности, меньший t_{\max}^{Π} . Нетрудно заметить, что t_{\max}^R намного превышает оптимальный срок службы, рассчитанный по минимуму удельных, приведенных к машино-часу, затрат.

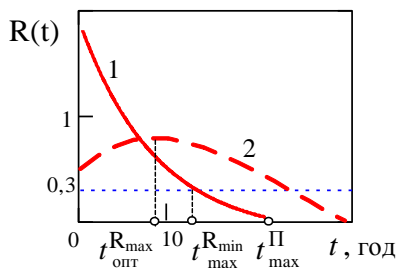


Рис. 4. Динамика уровня рентабельности за срок службы машины:

$t_{\max}^R_{\min}$ – максимальный срок службы по минимально допустимому уровню рентабельности R_{\min} ; $t_{\text{опт}}^R_{\max}$ – оптимальный срок службы по максимальному уровню рентабельности R_{\max} ; линии 1 и 2 соответствуют равномерному и ускоренному (с коэффициентом два) методам расчета амортизационных отчислений

Модели определения сроков службы по минимуму удельных затрат и максимуму удельной прибыли (оптимальные значения примерно совпадают) целесообразно применять в случае наличия у эксплуатирующей организации средств для обновления парка машин. В этом случае можно будет выручить значительные суммы от продажи машины (рыночная стоимость снижается примерно на 20% в год от текущего значения рыночной стоимости). Модель минимума уровня рентабельности применима для предприятий, испытывающих дефицит средств для приобретения новой техники.

Следует отметить, что срок службы машин определяется также требуемым уровнем работоспособности для выполнения заданной работы. Так, на менее ответственных объектах можно применять и менее надежную технику и наоборот, если при выполнении работы простой машины вследствие внезапных отказов чреват серьезными экономическими или другими последствиями, то следует использовать более надежные машины.

Управлять сроками службы техники можно также и экономическими методами, например, применением различных схем амортизационных начислений (см. рис. 4).

3. Определение срока службы по ресурсным параметрам

Срок службы по другим ресурсным параметрам (РП) определяется временем достижения предельного состояния (ВДПС) по данному виду ресурса. ВДПС зависит от начального и предельного значений РП, закона изменения РП.

Зависимость производительности $Q(t)$ от срока службы приведена на рис. 5. Восемидесяти процентный уровень снижения производительности считается предельным $Q_{\text{пред}}$.

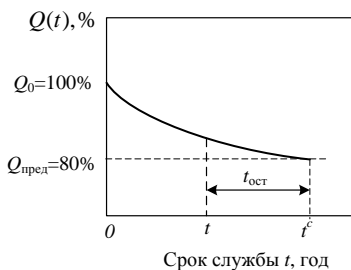


Рис. 5. Модель остаточного ресурса по минимуму производительности

Эксплуатационные данные (количество внезапных отказов $HP(t)$ и время восстановления после отказа T_B) позволяют определить необходимый набор показателей надежности (рис. 6):

– среднюю наработку на отказ:

$$T_{OT}(t) = T_{PP}(t) / HP(t),$$

– приведенную интенсивность отказов:

$$\Lambda(t) = 1 / [T_{OT}(t) + T_B],$$

– вероятность безотказной работы на отрезке времени ΔT :

$$P(t, \Delta T) = \exp[-\Lambda(t) \cdot \Delta T]$$

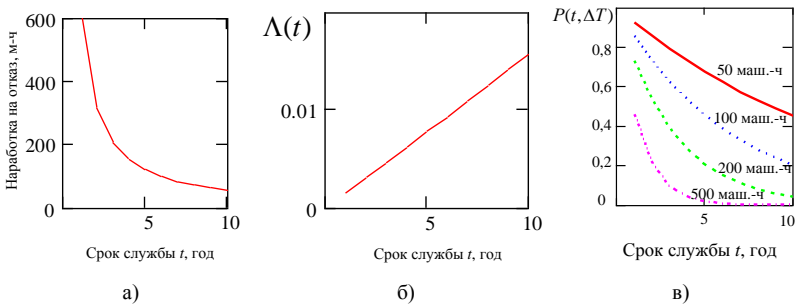


Рис. 6. Зависимость показателей надежности от срока службы:

а) наработки на отказ $T_{OT}(t)$; б) приведенной интенсивности отказов $\Lambda(t)$;

в) вероятности безотказной работы за определенный период времени ΔT , равный 50, 100, 200, 500 м-ч

Каждому показателю задается предельное значение и соответствует своя модель срока службы.

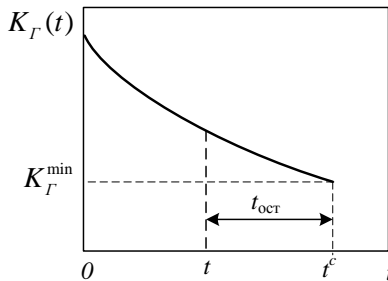


Рис. 7. Оценка остаточного ресурса по коэффициенту готовности

Так, *срок службы и остаточный ресурс* машин по выбранному минимальному значению коэффициента готовности определяются выражениями:

$$t^c = \frac{-\ln K_{\Gamma \min}}{\beta_t};$$

$$t_{\text{ост}}(t) = \left[\ln K_{\Gamma}(t) - \ln K_{\Gamma \min} \right] / \beta_t$$

4. Влияние режимов эксплуатации на динамику коэффициента готовности машин

Наличие эксплуатационной информации позволяет реализовать *способ учета влияния режимов эксплуатации* на коэффициент готовности. Эксплуатация машин является многорежимной – сочетаются периоды более и менее интенсивной работы, простоев по организационным причинам, хранения. Значения показателей старения β_i в различные периоды будут отличаться. Динамика K_{Γ} в зависимости от чередования периодов (i) эксплуатации (рис. 8) рассчитывается по рекуррентной формуле:

$$K_{\Gamma_i} = K_{\Gamma_{i-1}} \exp[-\beta_i (t_i - t_{i-1})].$$

$$(\beta \cdot 10^2)^T =$$

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
0	0	0.48	0.08	0.28	0.48	0.28	0.08	0.48	0.28	0.08	0.28	0.48	0.08

$$(\hat{E} \hat{a}_i \cdot 10)^T =$$

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
0	9	8.74	8.72	8.65	8.49	8.39	8.36	8.17	8.05	8.02	7.89	7.66	7.63

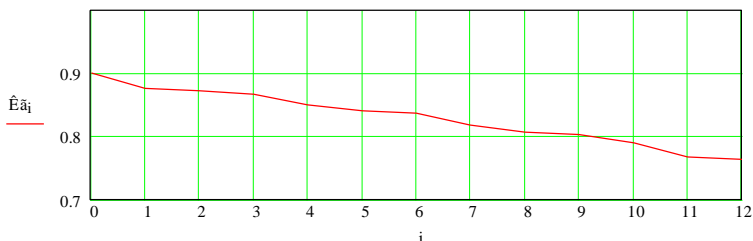


Рис. 8. Динамика коэффициента готовности по периодам эксплуатации

Посредством показателей надежности оценивается безопасность технических систем, одной из характеристик которой является *техногенный риск*. Риск возникает в результате внезапных отказов техники,

его средняя величина может быть получена как произведение потерь при наступлении неблагоприятного события на вероятность этого события.

5. Динамика коэффициента оперативной готовности

Коэффициенты готовности K_g и технического использования $K_{ти}$ описывают состояние парка, рассчитанное по соотношению продолжительностей работоспособного и неработоспособного состояний за определенный, довольно значительный промежуток времени, или (только для коэффициента готовности) в контрольный момент времени. Насколько гарантированно парк машин способен выполнить поставленную задачу по параметру безотказности (отработать безотказно заданный промежуток времени) – данные коэффициенты не дают ответа.

Поэтому в качестве характеристики безотказной работы парков машин в течение заданного промежутка времени можно использовать коэффициент оперативной готовности $K_{ог}$.

Коэффициент оперативной готовности – вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается, и, начиная с этого момента, будет работать безотказно в течение заданного интервала времени.

Из определения следует, что в функции срока службы (t) коэффициент оперативной готовности может быть рассчитан по формуле

$$K_{ог}(t, \Delta T) = K_g(t) \cdot P(t, \Delta T),$$

где $K_g(t)$ – коэффициент готовности; $P(t, \Delta T)$ – вероятность безотказной работы объекта в течение времени (ΔT), необходимого для безотказного использования по назначению. Выражение может быть представлено и в функции наработки T с начала эксплуатации.

Для часто используемого в расчетной практике простейшего потока отказов с интенсивностью $\lambda(t)$ для экспоненциального закона распределения внезапных отказов машин:

$$P(t, \Delta T) = \exp[-\lambda(t) \cdot \Delta T].$$

K_g зависит от времени простоя в неплановых ремонтах. Чем хуже система ТОиР и старше парк машин, тем больше простой. Коэффици-

ент готовности можно выразить через интенсивности потоков отказов $\lambda(t)$ и восстановлений $\mu(t)$:

$$K_r(t) = \frac{\mu(t)}{\mu(t) + \lambda(t)}.$$

Интенсивности отказов и восстановлений подчиняются экспоненциальному закону распределения, поэтому их можно принять равными обратным величинам наработки на отказ $T_{от}$ и времени восстановления T_B соответственно, т.е.:

$$\lambda(t) = T_{от}^{-1}(t), \quad \mu(t) = T_B^{-1}(t).$$

Тогда

$$P(t, \Delta T) = \exp[-\lambda(t) \cdot \Delta T] = \exp[-T_{от}^{-1}(t) \cdot \Delta T].$$

Приведенные формулы показывают, что управление работоспособностью парка можно производить через показатели интенсивностей потоков отказов $\lambda(t)$ и восстановлений $\mu(t)$, зависящих от возраста парка машин и уровня функционирования системы ТОиР соответственно.

На рис. 9 представлены результаты расчета показателей в Mathcad в зависимости от возраста t машины, планируемой продолжительности выполнения задания ΔT часов и времени восстановления работоспособности машины после внезапного отказа.

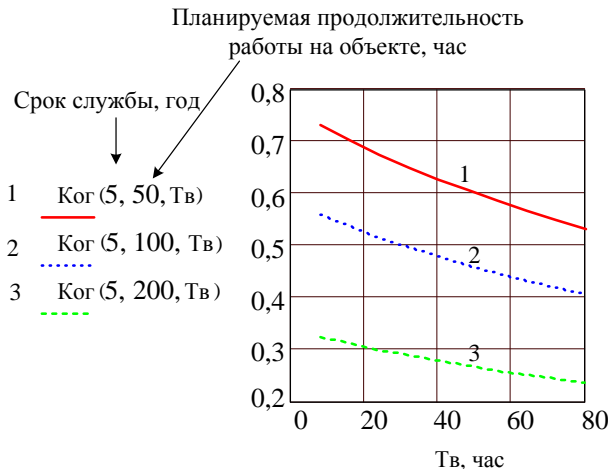


Рис. 9. Влияние продолжительности времени восстановления после внезапного отказа на коэффициент оперативной готовности

6. Методика формирования парков машин

Формирование парков машин производится, как правило, с целью приведения их в соответствие с потребностями производства по следующим показателям: номенклатуре, производственной мощности, техническому уровню.

Возможны следующие варианты обновления парка: покупка новых машин (отечественных, импортных), машин со сроком эксплуатации (бывших в употреблении), проведение капитального ремонта собственной техники, продажа маловостребованных или устаревших машин, списание техники, израсходовавшей свой ресурс.

Эффективность парка машин зависит от начального уровня надежности машин и качества СТЭ. Приобретая менее надежную технику по невысокой цене $C_{м1}$, предприятие должно быть готово нести более высокие затраты $Z_1(t)$ на поддержание ее работоспособности. Получая при этом меньшую выручку $B_1(t)$, меньшую прибыль $\Pi_1(t)$, меньшие оптимальный $t_{опт1}$ и максимальный t_{max1} сроки службы и большие удельные затраты z_{min1} . Обычно по этому пути идут эксплуатационные предприятия с развитой СТЭ, но недостаточными финансовыми ресурсами для покупки дорогих машин. Крупные организации предпочитают приобретать импортные машины высокого качества (на рис. 10 показатели с индексом «2»).

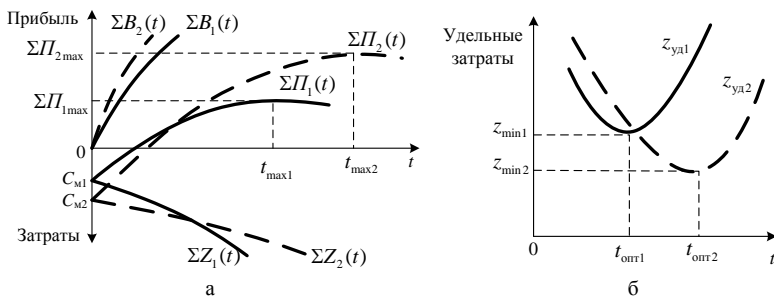


Рис. 10. Динамика во времени экономических показателей двух машин разного уровня качества: а – накопленной прибыли; б – удельных затрат

Наиболее правильное решение может быть принято с использованием методов оптимизации управленческих решений.

7. Метод оценки целесообразности покупки машин со сроком эксплуатации

Покупка машин на вторичном рынке широко используется в мировой практике формирования парков техники. Основная причина – осязаемое снижение стоимости подержанных машин при значительной величине остаточного ресурса. Поэтому себестоимость единицы ресурса, например, машино-часа работы оборудования, может быть выбрана в качестве экономического критерия целесообразности покупки бывших в употреблении машин (БУМ).

Себестоимость машино-часа можно представить в виде двух составляющих – издержек владения $C_v(t)$ и эксплуатационных затрат $C_э(t)$ (рис. 11):

$$C_{мч}(t) = C_v(t) + C_э(t), \text{ руб./час.}$$

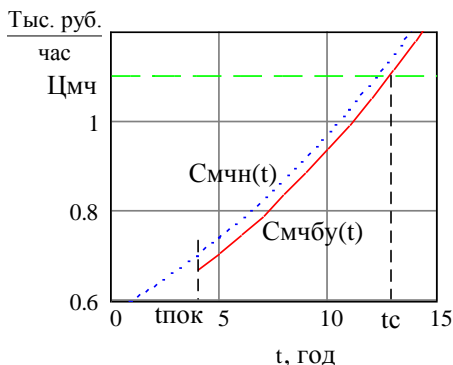


Рис. 11. Динамика себестоимости и цены машино-часа новой $C_{мчн}(t)$ и бывшей в употреблении $C_{мчбу}(t)$ машины: $C_{мч}$ – цена машино-часа; $t_{пок}$ – возраст машины в год ее покупки; t_c – срок списания машины по условию равенства себестоимости и цены машино-часа

Издержки владения $C_v(t)$ рассчитываются как затраты $C_m(t)$, связанные с приобретением машины, приходящиеся на определенную часть ресурса. В общем случае издержки владения могут быть вычислены по формуле:

$$C_v(t) = C_m(t) / T_c(t_c), \text{ руб./час.}$$

где t – возраст приобретаемой машины или текущий срок ее эксплуатации; $T_c(t_c)$ – ресурс машины до списания (продажи), для случая при-

обретения БУМ – остаточный ресурс (рис. 11); t_c – срок списания машины.

$C_m(t)$ рассчитываются как разность между затратами на приобретение машины и ликвидационной стоимостью Слик (или ценой продажи). Цена БУМ определяется динамикой рыночных цен по сроку службы и может быть описана экспоненциальной зависимостью:

$$C_m(t) = C_{mn} \cdot \exp(-\beta_m \cdot t) - \text{Слик} = C_{mn} \cdot k_m(t) - \text{Слик} ,$$

где C_{mn} – цена машины новой; t – текущий срок службы, год; β_m , $k_m(t)$ – показатель и коэффициент «старения» машины по рыночной стоимости соответственно.

Эксплуатационные затраты включают в основном стоимость горюче-смазочных и других материалов, работ по обслуживанию и ремонту, зарплату персонала и растут по мере старения машины:

$$C_э(t) = C_{эн} \cdot \exp(\beta_э \cdot t) / T(t) = C_{эн} \cdot k_э(t) / T(t) , \text{ руб./час.}$$

где $C_{эн}$ – эксплуатационные затраты новой машины, т.е. за первую единицу времени эксплуатации (год); $\beta_э$ и $k_э(t)$ – показатель и коэффициент старения машины по эксплуатационным затратам соответственно; $T(t)$ – наработка за текущий год.

При расчете издержек владения $C_v(t)$ следует учитывать снижение наработки машин в размере 1...5% в год вследствие увеличения простоев в ремонтах:

$$T(t) = T_n \cdot \exp(-\beta \cdot t) = T_n \cdot k(t) ,$$

где T_n – наработка новой машины, маш.-час в год; β – коэффициент старения по наработке, год.⁻¹; $k(t)$ – коэффициент готовности.

Нарботка на списание может быть рассчитана в общем случае по формуле

$$T_c(t) = T_n [1 - k(t)] / \beta$$

или отдельно для новой и бывшей в употреблении машины:

$$T_{cn} = \sum_{t=1}^{t_c} T(t); \quad T_{cbu} = \sum_{t=t_{пок}+1}^{t_c} T(t).$$

Таким образом, достаточно достоверно можно определять экономическую целесообразность покупки БУМ по трем показателям старения машины – рыночной цены β_m , эксплуатационных затрат $\beta_э$, наработки β (соответствующие им коэффициенты представлены на рис. 13, а).

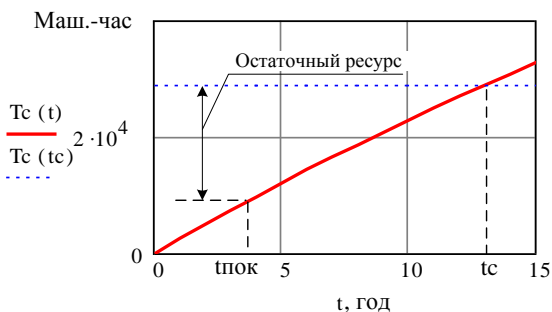


Рис. 12. Схема к расчету наработки на списание машины

Причем, чем больше разница между показателями β и β_m (разумеется $\beta > \beta_m$), тем более выгодной будет приобретение БУМ. На рис. 13, б показан еще один вариант графической интерпретации данного условия – кривая снижения остаточного ресурса по сроку службы должна быть выше кривой, характеризующей динамику падения рыночной цены машины.

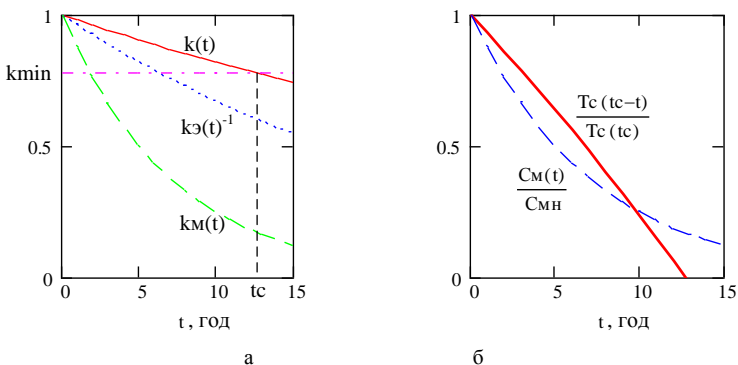


Рис. 13. Сравнение динамики показателей по сроку службы t :
 а – коэффициентов – готовности, эксплуатационных затрат, цены машины;
 б – остаточного ресурса и цены; k_{min} – значение коэффициента готовности, соответствующее минимальному уровню рентабельности машины

Описываемый метод позволяет также определить экономически оптимальный срок службы оборудования. На рис. 14 представлены результаты расчета удельной прибыли (за машино-час), максимальное значение которой соответствует оптимальному сроку службы.

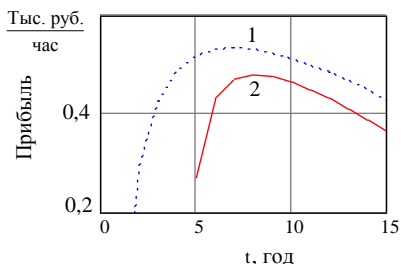


Рис. 2.6. Динамика прибыли за машино-час новой (1) и бывшей в употреблении (2) машины

8. Содержание отчета

1. Привести описание критериев и методики определения оптимального срока службы и состава парка машин предприятия.
2. Определить оптимальный срок службы и состав парка машин предприятия по заданию преподавателя.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Опишите системное представление о предприятии и месте парка машин в нём.
2. Приведите критерии для определения оптимального срока службы.
3. Опишите порядок определения срока службы по экономическим критериям.
4. Опишите порядок определения срока службы по ресурсным параметрам.
5. Опишите влияние режимов эксплуатации на динамику коэффициента готовности машин.
6. Опишите влияние режимов эксплуатации на динамику коэффициента оперативной готовности.
7. Опишите методику формирования парков машин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сухарев, Э. А. Эксплуатационная надежность машин: теория, методология, моделирование: учебное пособие / Э. А. Сухарев. – Ровно: НУВХП, 2006. – 191 с.
2. Ренева, А.Н. Методы оценки износа и стоимости деталей, машин, комплексов : учеб. пособие / А.Н. Ренева, О. В. Тупицына. – Пермь : ИПЦ «Прокрость», 2018. – 121 с.

Практическая работа № 4. Прогнозирование остаточного ресурса по известной наработке с начала эксплуатации.

1. Методика прогнозирования остаточного ресурса по известной наработке с начала эксплуатации

В основу методов прогнозирования остаточного ресурса положены зависимости ресурса оборудования от его наработки, установленные по конкретным видам деградационных процессов и введенные в государственные стандарты. Для прогнозирования остаточного ресурса оборудования этими методами необходимо установить, что является основной причиной потери работоспособности оборудования, определить фактические, действующие на оборудование нагрузки (спектры нагрузок) и при соответствии условий эксплуатации требованиям стандартов выполнить расчеты по установленным стандартам зависимостям.

Чтобы определить остаточный ресурс конкретной составной части, мастер-диагност должен располагать исходными данными.

Определение остаточного моторесурса машин и оборудования $R_{ост}$ показано на схеме (рис. 1), где закономерность изменения контролируемого параметра представлена кривой.

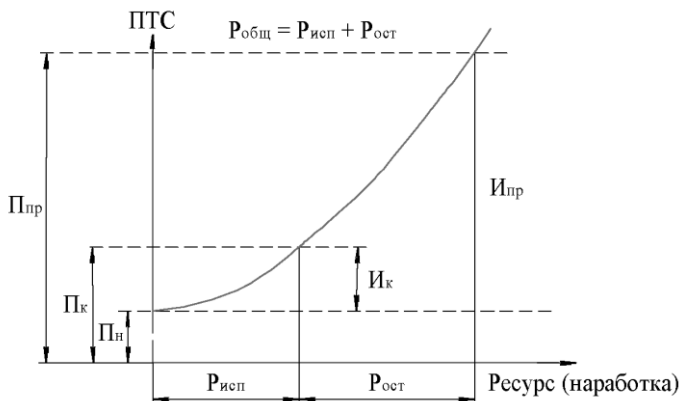


Рис. 1. Схема определения остаточного моторесурса машин и оборудования:
 $R_{исп}$ – использованный ресурс к моменту контроля;
 I_k – изменение значения параметра к моменту контроля (диагностирования);
 $I_{пр}$ – предельное изменение значения параметра; $R_{ост}$ – остаточный ресурс

Изменение значения параметра к моменту контроля или диагностирования можно определить по формуле

$$I_k = P_k - P_n,$$

где P_k и P_n – значения параметра к моменту контроля на начало эксплуатации машины.

Предельное изменение значения параметра определяется по формуле:

$$I_{пр} = P_{пр} - P_n,$$

где $P_{пр}$ – предельное значение параметра машины.

Имея все эти данные $P_{ост}$ определяют по формуле

$$P_{ост} = P_{исп} \left[\left(\frac{I_{пр}}{I_k} \right)^{\frac{1}{\alpha}} - 1 \right].$$

При $\alpha > 1$ и $\alpha < 1$ зависимость значений параметров технического состояния составных частей машины и оборудования от продолжительности работы (наработки) носит криволинейный характер, причем при $\alpha > 1$ кривая обращена выпуклостью вниз, при $\alpha < 1$ – вверх. При $\alpha = 1$ указанная зависимость линейна.

При $\alpha = 1$ выражение определения $P_{ост}$ примет следующий вид:

$$P_{ост} = P_{исп} \left(\frac{I_{пр}}{I_k} \right) - 1.$$

По данным ГОСНИТИ, значения α находятся в пределах 0,8–2,0.

Значения $P_{пр}$, P_n , α рассчитывают заранее, их заносят в технологию диагностики технического состояния машин для использования при определении $P_{ост}$.

Таким образом, для определения остаточного ресурса какого-либо сопряжения необходимо сделать замеры соответствующего параметра и знать наработку к моменту замера. Определение остаточного ресурса машин и установление на этой основе времени их безотказной работы позволит сократить число отказов в процессе эксплуатации и увеличить межремонтную наработку.

2. Содержание отчета

1. Привести методику прогнозирования остаточного ресурса по известной наработке с начала эксплуатации.

2. Определить остаточный ресурс машин по заданию преподавателя.

3. Построить графическое отображение изменения значения параметра в зависимости от наработки.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. На чем основаны методы прогнозирования остаточного ресурса?

2. Приведите методику прогнозирования остаточного ресурса по известной наработке с начала эксплуатации.

3. Опишите закономерность изменения контролируемого параметра от наработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сухарев, Э. А. Эксплуатационная надежность машин: теория, методология, моделирование: учебное пособие / Э. А. Сухарев. – Ровно: НУВХП, 2006. – 191 с.

2. Технологические методы обеспечения надежности деталей машин: учеб. пособие / И.М. Жарский [и др.]. – Минск: Вышэйшая школа, 2005. – 299 с.

3. Ренева, А.Н. Методы оценки износа и стоимости деталей, машин, комплексов : учеб. пособие / А.Н. Ренева, О. В. Тупицына. – Пермь : ИПЦ «Прокрость», 2018. – 121 с.

Практическая работа № 5.
Прогнозирование остаточного ресурса при неизвестной наработке с начала эксплуатации

1. Методика прогнозирования остаточного ресурса при неизвестной наработке с начала эксплуатации

В основу методов прогнозирования остаточного ресурса положены зависимости ресурса оборудования от его наработки, установленные по конкретным видам деградационных процессов и введенные в государственные стандарты. Для прогнозирования остаточного ресурса оборудования этими методами необходимо установить, что является основной причиной потери работоспособности оборудования, определить фактические, действующие на оборудование нагрузки (спектры нагрузок) и при соответствии условий эксплуатации требованиям стандартов выполнить расчеты по установленным стандартами зависимостям.

При прогнозировании остаточного ресурса сведения о наработке отдельных составных частей машины от начала эксплуатации иногда отсутствуют.

В подобных случаях остаточный ресурс определяют по значениям параметров, устанавливаемым при предыдущем и повторном диагностировании, а также наработке t_m между первым и вторым измерениями.

Изменение параметра от начала эксплуатации до первой и второй проверок определяется по формуле

$$U_1 = P_1 - P_n \text{ и } U_2 = P_2 - P_n$$

где P_1 и P_2 – значения параметра, измеренные при первой и второй проверках технического состояния машины.

В этом случае остаточный ресурс $t_{\text{ост}}$ определяется по формуле

$$t_{\text{ост}} = R t_{\text{ост}}^{\text{усл}}$$

где R – коэффициент, учитывающий темп износа сопряжения (детали) между двумя измерениями (проверками);

$t_{\text{ост}}^{\text{усл}}$ – условный остаточный ресурс.

$$R = \frac{1}{\sqrt[\alpha]{\frac{U_2}{U_1}} - 1} + 1.$$

Условный остаточный ресурс

$$t_{\text{ост}}^{\text{усл}} = t_{\text{м}} \left(\sqrt[\alpha]{\frac{U_{\text{пп}}}{U_2}} - 1 \right),$$

где $t_{\text{м}}$ – межконтрольная наработка (за время работы между первой и второй проверками).

$$t_{\text{ост}} = t_{\text{м}} \left(\frac{1}{\sqrt[\alpha]{\frac{U_2}{U_1}} - 1} + 1 \right) \left(\sqrt[\alpha]{\frac{U_{\text{пп}}}{U_2}} - 1 \right).$$

Таким образом, при неизвестной наработке от начала эксплуатации для определения остаточного ресурса необходимо измерить значение контролируемого параметра не менее двух раз и знать наработку за время работы между этими измерениями. Предельное и номинальное значения параметра берутся из инструкции по эксплуатации машин.

2. Методика определения остаточного ресурса при отсутствии данных о наработке с начала эксплуатации до момента диагностирования

В большинстве случаев у мастера по диагностике нет сведений о наработке с начала эксплуатации диагностируемой машины. Прогнозирование технического состояния возможно и в этом случае.

Однако необходимо получить информацию о результатах двух последовательных измерений диагностического параметра и наработке между ними. Остаточный ресурс при отсутствии данных о наработке с начала эксплуатации до момента диагностирования проводится по методике прогнозирования остаточного ресурса при неизвестной наработке от начала эксплуатации. Тогда остаточный ресурс можно оценить по следующей формуле:

$$t_{\text{ост}} = R t'_{\text{ост}},$$

где R – поправочный коэффициент;

$t'_{\text{ост}}$ – условный остаточный ресурс оборудования.

Поправочный коэффициент можно рассчитать по формуле

$$R = \frac{1}{\sqrt[n]{\frac{U''}{U'} - 1}} + 1,$$

где U'' и U' – изменение параметра оборудования и машины, определенные при первом и втором диагностировании.

$$U' = \Pi' - \Pi_{\text{ном}} \quad \text{и} \quad U'' = \Pi'' - \Pi_{\text{ном}},$$

где Π' и Π'' – значения параметра машины и оборудования при первом и втором диагностировании.

Тогда остаточный ресурс можно определить по следующей формуле:

$$t_{\text{ост}} = \tau_{\text{д}} \left(\sqrt[n]{\frac{U_{\text{пр}}}{U''} - 1} \right),$$

где $\tau_{\text{д}}$ – наработка машины между проверками.

Таким образом, для определения остаточного ресурса при отсутствии данных о наработке с начала эксплуатации до момента диагностирования необходимо определить изменение параметра машин, определенных при диагностировании, а также знать наработку машины между проверками.

3. Содержание отчета

1. Привести методику прогнозирования остаточного ресурса при неизвестной наработке с начала эксплуатации.

2. Привести методику прогнозирования остаточного ресурса при отсутствии данных о наработке с начала эксплуатации до момента диагностирования.

3. Определить остаточный ресурс машин по заданию преподавателя.

4. Построить графическое отображение изменения значения параметра в зависимости от наработки.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. На чем основаны методы прогнозирования остаточного ресурса?
2. Приведите методику прогнозирования остаточного ресурса при неизвестной наработке с начала эксплуатации.
3. Приведите методику прогнозирования остаточного ресурса при отсутствии данных о наработке с начала эксплуатации до момента диагностирования.
4. Опишите закономерность изменения контролируемого параметра от наработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сухарев, Э. А. Эксплуатационная надежность машин: теория, методология, моделирование: учебное пособие / Э. А. Сухарев. – Ровно: НУВХП, 2006. – 191 с.
2. Технологические методы обеспечения надежности деталей машин: учеб. пособие / И.М. Жарский [и др.]. – Минск: Вышэйшая школа, 2005. – 299 с.
3. Ренева, А.Н. Методы оценки износа и стоимости деталей, машин, комплексов : учеб. пособие / А.Н. Ренева, О. В. Тупицына. – Пермь : ИПЦ «Прокрость», 2018. – 121 с.

Практическая работа № 6. **Прогнозирование остаточного ресурса составной части машины**

1. Методика прогнозирования остаточного ресурса составной части машины

В процессе эксплуатации машин техническое состояние их элементов зависит от эксплуатационных, конструктивных и технологических факторов. Предсказать техническое состояние машины можно прогнозированием, на основе которого дается заключение о целесообразности проведения технического воздействия (ремонта, замены, регулировки). Прогнозирование при известных нормативных значениях диагностических параметров решает задачи определения остаточного ресурса и периодичности диагностирования.

После сравнения измеренного значения диагностического параметра с нормативным (предельным или допускаемым) его значением делается заключение об остаточном ресурсе и соответственно о необходимости проведения тех или иных технических воздействий.

Когда остаточный ресурс больше предстоящего межконтрольного цикла, то техническое воздействие на диагностируемый элемент не осуществляется. Если остаточный ресурс меньше межконтрольного цикла и диагностический параметр достиг своего допускаемого значения, то осуществляется техническое воздействие.

Метод прогнозирования остаточного ресурса машины или отдельного его элемента применяется при отсутствии информации об изменении параметра в прошлом.

При реализации этого метода используется функция среднего изменения диагностического параметра, ее среднеквадратичное отклонение и средние данные по предельному состоянию, полученные для группы однотипных элементов. Метод имеет большую погрешность в оценке остаточного ресурса отдельных элементов.

Метод заключается в предсказании изменения диагностического параметра с учетом его предельного значения и индивидуального изменения в прошлом, а также характера изменения, выявленного для всей совокупности однотипных элементов.

При прогнозировании по этому методу принимается, что изменение параметра диагностируемого элемента характеризуется экстраполяционной функцией и среднеквадратичным отклонением этой функции от фактического изменения параметра. Этот метод позволяет получать

более достоверный прогноз остаточного ресурса, чем метод прогнозирования по среднему статистическому изменению параметра.

Прогнозирование остаточного ресурса с помощью математических моделей. Аппаратный поиск неисправностей необходим не только для устранения отказов, но и для прогнозирования остаточного и прогнозируемого ресурсов. Это одна из важнейших задач, которую приходится решать при переходе на ремонт по техническому состоянию.

Сложность прогнозирования заключается в том, что приходится привлекать математический аппарат, который не всегда дает достаточно точный (однозначный) ответ. Тем не менее, без него обойтись в этом случае нельзя.

Решение задач прогнозирования весьма важно, в частности, для организации планово-предупредительного ремонта объектов по техническому состоянию (вместо обслуживания по срокам или по ресурсу).

Непосредственное перенесение методов решения задач диагностирования на задачи прогнозирования невозможно из-за различия моделей, с которыми приходится работать: при диагностировании моделью является описание оборудования, в то время как при прогнозировании необходима модель процесса совершенствования технических характеристик оборудования во времени.

В результате диагностирования каждый раз определяется не более чем одна «точка» указанного процесса совершенствования для текущего момента (интервала) времени. Тем не менее, хорошо организованное диагностическое обеспечение машины с хранением всех предшествующих результатов диагностирования может дать полезную и объективную информацию, представляющую собой предысторию (динамику) развития процесса изменения технических характеристик машины в прошлом, что может быть использовано для систематической коррекции прогноза и повышения его достоверности.

2. Прогнозирование остаточного ресурса методом экспертных оценок

При расчете остаточного ресурса чаще всего возникают трудности, связанные с отсутствием объективной информации, необходимой для принятия решений по методу экспертных оценок.

В большинстве случаев такие решения принимаются на основе учета мнений квалифицированных специалистов (экспертов) путем проведения экспертного опроса. При этом экспертные заключения дает

рабочая группа, общее мнение которой формируется в результате дискуссии.

Существует несколько способов экспертной оценки, а именно: непосредственная оценка, ранжирование (ранговая корреляция), парное сопоставление, балл (балльные оценки) и последовательные сопоставления. Все эти способы отличаются как подходами к постановке вопросов, на которые отвечают эксперты, так и проведением экспериментов и обработкой результатов опроса. Вместе с тем их объединяет общее – знания и опыт специалистов в данной области.

Наиболее простым и объективным способом экспертной оценки является способ непосредственной оценки, который широко применяется для определения остаточного ресурса на основе диагностирования технического состояния машин. Достоинства этого способа – высокая точность результатов расчета, а также возможность одновременного прогнозирования ресурса сразу по нескольким типам машин.

Для экспертной оценки ресурса машин на предприятии создается постоянно действующая рабочая группа, которая разрабатывает необходимую документацию, организует процедуру опроса экспертов, обрабатывает и анализирует полученную информацию.

Руководителем рабочей группы должно быть ответственное лицо, осуществляющее, по мере необходимости, определение остаточного ресурса машин и дающее заключение о продолжительности работы без остановки на капитальный ремонт на определенное время (до очередного текущего ремонта). Он согласовывает с главным инженером предприятия состав рабочей группы, составляет программу, принимает участие в опросе экспертов, анализирует предварительные результаты.

В состав рабочей группы помимо непосредственных исполнителей целесообразно включать технических работников обслуживающих технические средства, стаж которых по эксплуатации и ремонту данных машин составляет не менее пяти лет.

В обязанности рабочей группы входит:

- подбор специалистов-экспертов;
- выбор наиболее приемлемого метода экспертных оценок и в соответствии с этим разработка процедуры опроса и составления опросных листов;
- проведение опроса;
- обработка материалов опроса;
- анализ полученной информации;

– синтез объективной и субъективной информации с целью получения оценок, необходимых для принятия решений.

Руководитель рабочей группы перед организацией экспертного опроса должен представить экспертам максимально возможное количество объективных данных по диагностированию всех агрегатов, узлов, соединений и деталей по каждой единице машин, имеющихся в распоряжении рабочей группы, паспорта, ремонтные журналы и другую техническую документацию за весь срок службы машин.

Путем проведения инструктажа необходимо информировать экспертов об источниках возникновения данного вопроса, путях решения сходных вопросов в прошлом на других предприятиях и машинах, т. е. повысить квалификацию (информативность) экспертов в данном вопросе.

При обработке экспертных опросных листов следует особое внимание обратить на правильность задаваемых вопросов. Вопросы должны быть краткими (да, нет), не должны допускать двойного толкования.

Для проведения экспертного опроса подготавливаются специальные опросные листы.

При организации экспертного опроса рабочая группа должна учитывать, что эксперту, как любому человеку, трудно без значительной ошибки выносить решения в случаях, когда имеются более семи альтернатив, например, назначать вес (значительность) более чем семи свойствам (показателям). Поэтому нельзя представлять экспертам список из нескольких десятков свойств (показателей) и требовать от них назначить веса этим свойствам (показателям).

В тех случаях, когда требуется оценить большое количество свойств (факторов, показателей, параметров), их необходимо предварительно разделить на однородные группы (по функциональному назначению, принадлежности и пр.) так, чтобы число показателей, входящих в однородную группу, не превышало 5–7.

После ознакомления экспертов с содержанием исследуемого вопроса руководитель рабочей группы раздает им опросные листы и пояснительные записки. При этом наиболее авторитетный сотрудник рабочей группы разъясняет экспертам те положения опросного листа, которые недостаточно хорошо ими поняты.

Получив заполненный опросный лист, руководитель рабочей группы при необходимости задает эксперту вопросы для уточнения полученных результатов. Это позволяет выяснить, правильно ли поняты

экспертом вопросы опросного листа и действительно ли ответы соответствуют его истинному мнению.

В процессе опроса сотрудники рабочей группы не должны высказывать эксперту свои суждения о его ответах, чтобы не навязывать ему своего мнения. После обработки результатов опроса проводится ознакомление каждого эксперта со значениями оценок, назначенными всеми другими экспертами, входящими в экспертную группу. Каждый эксперт, ознакомившись с анонимными мнениями других экспертов, вновь заполняет опросный лист.

Допускается проведение и открытого обсуждения результатов опроса. Каждый эксперт при этом имеет возможность кратко аргументировать свои суждения и критиковать другие мнения. Для исключения возможного влияния служебного положения на мнение экспертов желательно, чтобы эксперты высказывались в последовательности от младшего к старшему (по служебному положению).

В подавляющем большинстве случаев двух туров опроса бывает вполне достаточно для принятия обоснованного решения. В случаях, когда требуется повысить точность оценок путем увеличения объема статистической выборки (количеством ответов), а также при низкой согласованности мнений экспертов, экспертный опрос может быть проведен в три тура.

Результатом опроса является определение искомого параметра прогнозирования на основе анализа ответов экспертов. Полученный по экспертным оценкам показатель следует рассматривать как случайную величину, отражением которой является индивидуальное мнение эксперта. Когда значение какого-либо показателя неизвестно, относительно него у специалиста-эксперта всегда имеется интуитивная информация.

Естественно, что эта информация в известной мере является неопределенной, и степень неопределенности зависит от уровня знаний и технической эрудиции специалиста-эксперта. Задача рабочей группы заключается в том, чтобы извлечь эту неясную информацию и придать ей математическую форму. После получения ответов от каждого эксперта необходимо проверить степень согласованности мнений экспертов.

3. Содержание отчета

1. Привести методику прогнозирования остаточного ресурса составной части машины.
2. Привести методику прогнозирования остаточного ресурса методом экспертных оценок.
3. Определить остаточный ресурс машин по заданию преподавателя.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Приведите методику прогнозирования остаточного ресурса составной части машины.
2. Приведите методику прогнозирования остаточного ресурса методом экспертных оценок.
3. Приведите обязанности рабочей группы при прогнозировании остаточного ресурса методом экспертных оценок
4. Какие ошибки могут допускаться при составлении и обработке экспертных опросных листов?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сухарев, Э. А. Эксплуатационная надежность машин: теория, методология, моделирование: учебное пособие / Э. А. Сухарев. – Ровно: НУВХП, 2006. – 191 с.
2. Технологические методы обеспечения надежности деталей машин: учеб. пособие / И.М. Жарский [и др.]. – Минск: Высшая школа, 2005. – 299 с.
3. Ренева, А.Н. Методы оценки износа и стоимости деталей, машин, комплексов : учеб. пособие / А.Н. Ренева, О. В. Тупицына. – Пермь : ИПЦ «Прокрость», 2018. – 121 с.

Практическая работа № 7.

Расчет оптимальной периодичности технического обслуживания машин

1. Определение периодичности технического обслуживания по допустимому уровню вероятности безотказной работы

Данный метод расчета относится к группе аналитических, основанных на кривой распределения наработки на отказ элемента автомобиля. Для реализации метода необходимо по известным методикам построить кривую распределения наработки на отказ (рис. 1) и определить ее параметры: среднюю наработку на отказ \bar{l} , среднеквадратическое отклонение наработки на отказ σ_l , коэффициент вариации V_l .

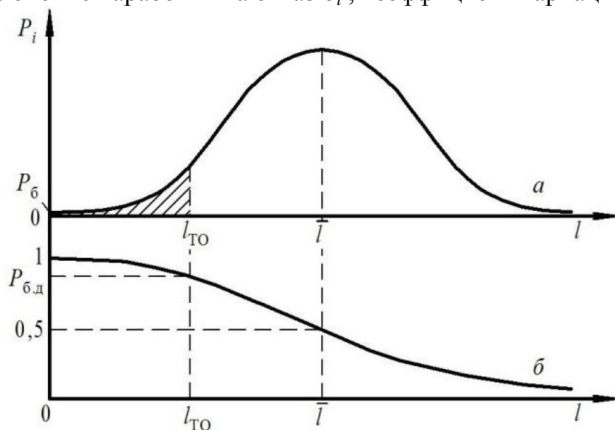


Рис. 1. Распределение наработки на отказ l (а) и вероятность безотказной работы P_6 (б)

Вероятность отказа в k -минтервале определяется как накопленная частота отказов (заштрихованная площадь на рис. 1):

$$P_{ок} = \sum_{i=1}^k p_{l_i},$$

вероятность безотказной работы

$$P_6 = 1 - P_0 = 1 - \sum_{i=1}^k p_{l_i},$$

При этом методе задается допустимый уровень вероятности безотказной работы $P_{б.д}$ или вероятности отказа $P_{о.д}$, называемые риском. Обычно для агрегатов и механизмов машины, обеспечивающих безопасность движения, $P_{б.д} = 0,9 \dots 0,98$, для прочих узлов и агрегатов $P_{б.д} = 0,85 \dots 0,9$.

Эти значения обусловлены, как правило, величиной коэффициента опасности отказа k_0 :

$$k_0 = \frac{C}{C_{II}},$$

где C – разовые (абсолютные) затраты на устранение отказа;

C_{II} – разовые затраты на предупреждение отказа.

Определенная таким образом периодичность ТО $l_{ТО}$ (см. рис. 1) значительно меньше средней наработки на отказ и связана с ней через коэффициент рациональной периодичности β :

$$l_{ТО} = \beta \bar{l}$$

Коэффициент вариации учитывает и принятую допустимую вероятность безотказной работы $P_{б.д}$ (рис. 2).

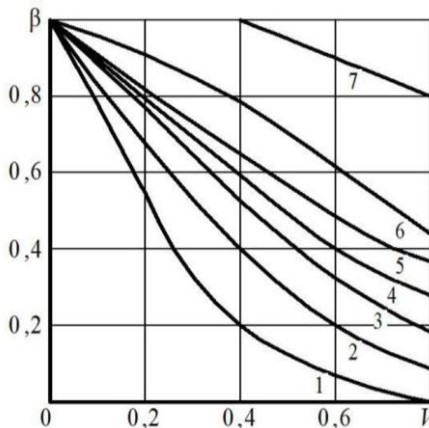


Рис. 2. Влияние коэффициента вариации V и допустимого уровня вероятности безотказно работы $P_{б.д}$ на коэффициент рациональной периодичности β :

1 – $P_{б.д} = 0,99$; 2 – $P_{б.д} = 0,95$; 3 – $P_{б.д} = 0,90$; 4 – $P_{б.д} = 0,85$;

5 – $P_{б.д} = 0,80$; 6 – $P_{б.д} = 0,70$; 7 – $P_{б.д} = 0,50$.

Таким образом, чем меньше вариация наработки на отказ, тем большая периодичность ТО может быть назначена при прочих равных

условиях. Более жесткие требования к безотказности (особенно безопасности движения) снижают рациональную периодичность ТО. Данный метод применяется при невысоких значениях коэффициента опасности отказов, невозможности оценки изменения технического состояния элементов в процессе эксплуатации.

Наиболее часто этот метод используется при определении периодичности крепежных работ, для которых $\beta = 0,4 \dots 0,5$.

Задание 1. Определить периодичность ТО по изменению вероятности безотказной работы

По представленному вариационному ряду значений наработки на отказ (табл. 1) системы питания двигателя найти показатели безотказности агрегата автомобиля.

Таблица 3. Вариационный ряд наработки на отказ

Номер автомобиля	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Наработка на отказ, тыс. км	24	16	22	24	26	36	51	32	46	15	17	14	50
Номер автомобиля	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	-
Наработка на отказ, тыс. км	24	16	22	24	26	36	51	32	46	15	17	14	-

Пример. С помощью программного обеспечения MicrosoftOfficeExcel определяют параметры распределения: $l = 25$ тыс. км; $\sigma_1 = 12,15$ тыс. км; $V_1 = 0,486$.

Пользуясь функцией «Частота», строят график распределения наработки на отказ в координатах: «наработка (тыс. км) – частота (%)» как показано на рис. 3 и изменение вероятности отказа системы питания двигателя по наработке l (рис. 4). По заданному значению Рб.д определяют величину $l - Рб.д.$ и по графику расчетной вероятности находят $l_{ТО} = 15$ тыс. км (рисунок 4).

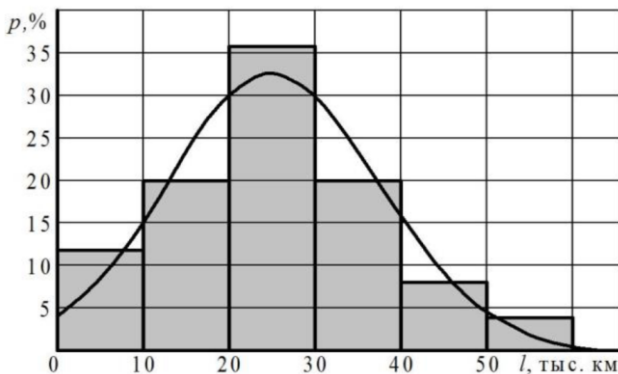


Рис. 3. Распределение наработки на отказ системы питания двигателя

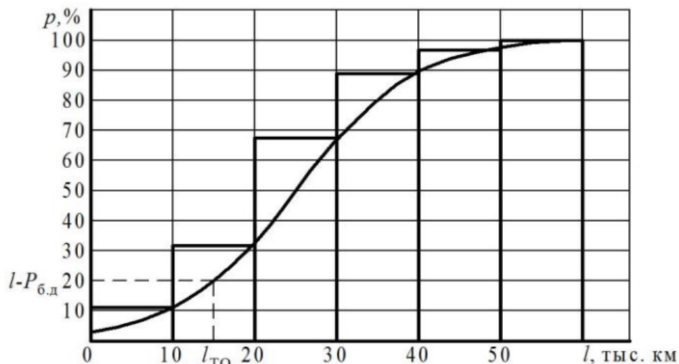


Рис. 4. Изменение вероятности отказа (1 – Рб.д.) системы питания двигателя по наработке l.

Задание 2. Определить периодичность ТО по коэффициенту рациональной периодичности

Используя предыдущие данные, находят периодичность ТО по формуле

$$l_{\text{ТО}} = \beta \bar{l}$$

и данным номограммы рис. 2.

Пример. Средняя наработка на отказ составляет $\bar{l} = 25$ тыс. км, коэффициент вариации $V_1 = 0,486$. При заданном уровне Рб.д с учетом коэффициента вариации по номограмме (рис. 2) определяют $\beta = 0,53$, следовательно, $l_{\text{ТО}} = 25 \cdot 0,53 = 13,25$ тыс. км.

2. Определение периодичности технического обслуживания по изменению и допустимому уровню диагностического параметра

Значительная часть отказов относится к профилируемым (последовательным, закономерным). Изменение конкретного показателя технического состояния – диагностического параметра, которым он количественно оценивается по косвенным признакам его проявления, в процессе эксплуатации происходит с различной интенсивностью, что обусловлено действием многих факторов (кривые 1, 2, 4, 5 на рис. 5).

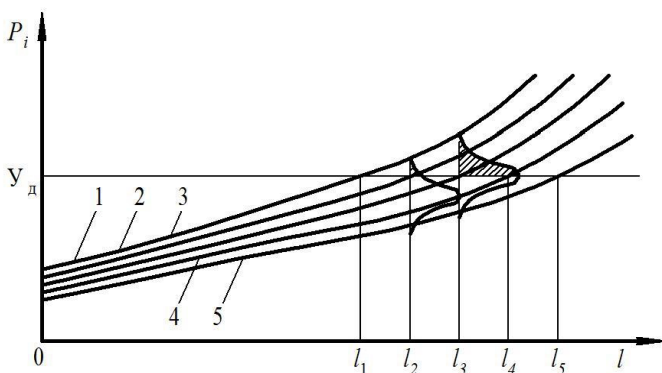


Рис. 5. Схема определения периодичности технического обслуживания X_{TO} по изменению и допустимому уровню показателя технического состояния Y_d :

1–5 – варианты зависимостей технического состояния отдельных элементов автомобиля от пробега l .

В среднем для этой группы тенденция изменения характеризуется кривой 3. По ней и допустимому уровню Y_d диагностического параметра можно определить среднюю наработку l_3 (l), когда в среднем вся совокупность изделий достигнет допустимого значения (Y_d).

Этой средней наработке соответствует средняя интенсивность изменения технического состояния $\bar{\alpha}$. При этом изделия, имеющие большую интенсивность изменения технического состояния $\alpha > \bar{\alpha}$ (кривые 1, 2 на рис. 9), достигают предельного состояния значительно раньше при наработке l_1, l_2 меньшей, чем $l_{cp} = l_3$. Следовательно, при периодичности l для них с вероятностью $F_3 = 0,5$ наступает отказ.

Подобная система является нерациональной, так как затраты на устранение отказа значительно превосходят затраты на их предупре-

ждение. Поэтому назначают такую периодичность $I_0 = I_{ср}$, при которой вероятность отказа не будет превышать риска F , например $F=F_2$. Этот случай соответствует большей интенсивности изменения технического состояния, чем средняя, называемой максимально допустимой: $\alpha_2 = \mu \bar{\alpha}$, где μ — коэффициент максимальной интенсивности изменения технического состояния. При этом должно соблюдаться условие

$$P_{б.д} \{ \alpha_i \leq \alpha_d \} = 1 - F = P_{б.д}$$

где α_i и α_d — соответственно текущее и допустимое значение интенсивности изменения технического состояния; $P_{б.д} \{ \alpha_i \leq \alpha_d \}$ — вероятность того, что $\alpha_i \leq \alpha_d$; Рб.д — допустимая вероятность безотказной работы.

На коэффициент μ влияют степень риска, вариация V и вид закона распределения случайной величины. Чем больше V или $P_{б.д}$, тем больше μ и меньше оптимальная периодичность ТО (рисунок 6).

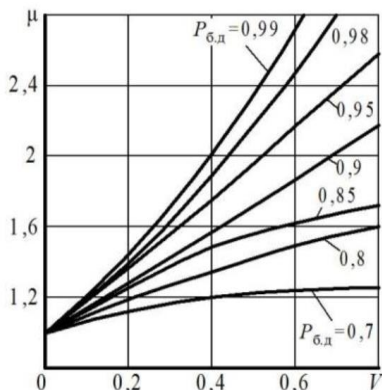


Рис. 6. Влияние коэффициента вариации V на коэффициент максимальной интенсивности изменения технического состояния μ

Данный метод используется для элементов автомобиля с явно фиксируемыми показателями технического состояния (изнашиваемые узлы, механизмы, техническое состояние которых поддерживают путем регулировочных работ (клапанный, тормозной механизмы, топливная аппаратура и др.)).

Для регулировочных работ характерны значения $V=0,5 \dots 0,8$, при которых $\mu=1,6 \dots 2,1$, т.е. рациональная периодичность ТО будет в 1,6 – 2,1 раза ниже средней.

Задание. Определить периодичность ТО по изменению диагностического параметра

По изменению диагностического параметра в процессе эксплуатации (табл. 2) находят периодичность ТО.

Таблица 2. Зависимость зазора в тормозном механизме Y от наработки

l , тыс. км	1	2	3	4	5
Y , мм	1,5	2,2	2,5	3,8	4,3

Пример. Допустимый уровень зазора в тормозном механизме принимают как $Y_d=5,8$. Допустимая вероятность безотказной работы $P_{б.д}=0,8$, коэффициент вариации равен 0,4.

Строят зависимость уровня диагностического параметра от наработки и определяют ее показатели, приняв, что зависимость имеет экспоненциальный характер:

$$Y = Y_0 e^{bl},$$

где Y_0 – значение параметра в начале эксплуатации;

b – коэффициент интенсификации;

l – наработка.

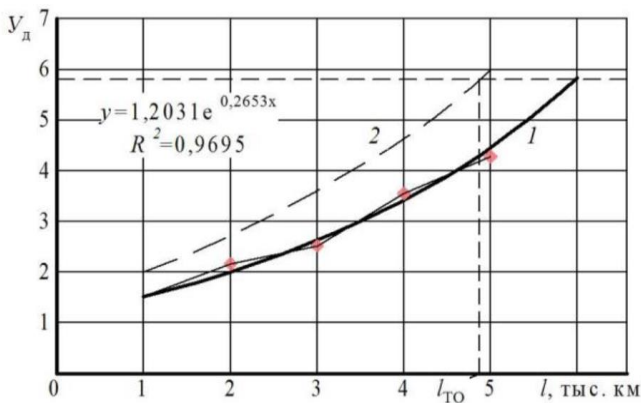


Рис. 7. Зависимость диагностического параметра от наработки:
1 – среднее значение; 2 – с учетом коэффициента максимальной интенсивности изменения технического состояния μ

Воспользовавшись программой Excel и табл. 2, строят график и определяют коэффициенты Y_0 и b уравнения.

Определяют коэффициент μ с учетом заданных значений Рб.д. и V по номограмме (см. рис. 6). В данном случае $\mu=1,33$. С учетом этого на рис. 7 построена кривая 2.

Учитывая допустимый уровень диагностического параметра $Уд = 5,8$, по кривой 2 определяют периодичность ТО: $l_{ТО} = 4,8$ тыс. км.

3. Определение периодичности технического обслуживания по технико-экономическому методу

Данный метод основан на минимизации суммарных удельных затрат на ТО и текущий ремонт (ТР). Минимальным удельным затратам соответствует оптимальная периодичность

$$C'_{ТО} = \frac{C_{ТО}}{l},$$

где l – периодичность ТО;

$C_{ТО}$ – разовые затраты на ТО.

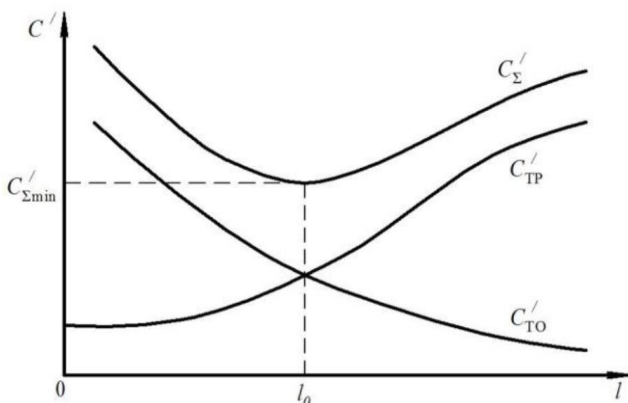


Рис. 8. Определение оптимальной периодичности технического обслуживания l_0 по технико-экономическому методу:

$C'_{ТО}$ – удельные затраты на ТО; $C'_{ТР}$ – удельные затраты на ТР.

При увеличении периодичности ТО разовые затраты ($C_{ТО}$) или остаются постоянными, или незначительно возрастают, а удельные затраты значительно сокращаются. Увеличение периодичности ТО повышает вероятность отказа элементов автомобиля, а следовательно, увеличивает затраты на текущий ремонт (ТР) $C_{ТР}$. Поскольку абсолют-

ные затраты на ТР практически пропорциональны вероятности отказов $P(l)$, удельные затраты на ТР составляют

$$C'_{\text{ТР}} = \frac{C_{\text{ТР}}P(l)}{l}$$

Определить минимум суммарных удельных затрат:

$$C'_{\Sigma} = C'_{\text{ТО}} + C'_{\text{ТР}}$$

можно графически или аналитически при известных формах зависимостей (рис. 8):

$$C'_{\text{ТО}} = f(l) \text{ и } C'_{\text{ТР}} = \varphi(l)$$

Этот метод используется для нахождения оптимальной периодичности большинства операций, не связанных с безопасностью движения. Если при назначении уровня риска учитывать потери, связанные с дорожно-транспортным происшествием, то метод можно применять для операций, влияющих на безопасность движения.

Технико-экономический метод требует тщательного учета затрат на ремонт и ТО, а также учета условий эксплуатации автомобилей в течение длительной эксплуатации.

Задание. Определить периодичность ТО по технико-экономическому методу

По известным данным стоимости ТО (5 тыс. руб.) и значению удельных затрат на ТР (табл. 3) определяют периодичность ТО.

Таблица 3. Зависимость удельных затрат от периодичности технического обслуживания, руб./тыс. км

Периодичность ТО, тыс. км	1	2	3	4	5	6	7
Удельные затраты на ТО $C'_{\text{ТО}}$	5	2,5	1,66	1,25	1	0,83	0,71
Удельные затраты на ТР $C'_{\text{ТР}}$	0,8	1,2	1,5	2	2,5	2,9	3,2
Суммарные удельные затраты на ТО и ТР C'_{Σ}	5,8	3,7	3,16	3,25	3,5	3,73	3,91

Воспользовавшись программой Excel и табл. 3, строят графики и определяют коэффициенты уравнения суммарных удельных затрат в виде полинома третьей степени (рис. 9).

Из приведенных экспериментальных данных (табл. 3, рис. 9) видно, что минимум суммарных затрат наступает при периодичности ТО 3...4 тыс. км.

Однако, вследствие неточности учета статистических данных целесообразно использовать расчетную зависимость суммарных удельных затрат, по которой периодичность ТО составляет 3,4 тыс. км. Точнее

периодичность ТО определяют по уравнению кривой (см. рис. 9), про- дифференцировав его и приравняв производную к нулю.

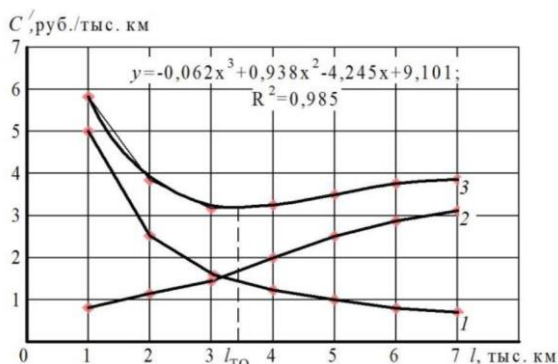


Рис. 9. Зависимость удельных затрат на техническое обслуживание (1), текущего ремонт (2) и суммарных удельных затрат (3) от пробега l : R^2 – показатель достоверности

4. Содержание отчета

1. Описание методики определения периодичности ТО по изменению вероятности безотказной работы. Результаты расчетов периодичности ТО, графики распределения наработки на отказ, ресурса и накопленной частоты.

2. Описание методики определения периодичности ТО по изменению диагностического параметра. Результаты расчетов периодичности ТО, график изменения уровня диагностического параметра в зависимости от наработки.

3. Описание методики определения периодичности ТО по технико-экономическому методу. Результаты расчетов периодичности ТО, график изменения затрат на ТО и ремонт в зависимости от наработки.

4. Выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение вероятности отказа и безотказной работы.
2. Чему равна сумма вероятностей отказа и безотказной работы?
3. Назовите допустимый уровень вероятности безотказной работы.

4. Что такое коэффициент опасности отказа?
5. Поясните смысл коэффициента рациональной периодичности.
6. Назовите критерии предельного значения диагностического параметра.
7. Дайте определение допустимого уровня диагностического параметра.
8. Объясните смысл коэффициента максимальной интенсивности изменения технического состояния.
9. Что такое удельные затраты?
10. Назовите условия оптимальной периодичности ТО.
11. К техническому обслуживанию каких элементов машин применим технико-экономический метод?
12. С увеличением периодичности ТО удельные затраты на ТР возрастают или уменьшаются?
13. Зависит ли стоимость работ от периодичности их выполнения?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сухарев, Э. А. Эксплуатационная надежность машин: теория, методология, моделирование: учебное пособие / Э. А. Сухарев. – Ровно: НУВХП, 2006. – 191 с.
2. Технологические методы обеспечения надежности деталей машин: учеб. пособие / И.М. Жарский [и др.]. – Минск: Высшая школа, 2005. – 299 с.
3. Ренева, А.Н. Методы оценки износа и стоимости деталей, машин, комплексов : учеб. пособие / А.Н. Ренева, О. В. Тупицына. – Пермь : ИПЦ «Прокрость», 2018. – 121 с.
4. Денисов, А.С. Практикум по технической эксплуатации автомобилей: учеб. пособие / А.С. Денисов, А.С. Гребенников. – Москва: Академия, 2012. – 272 с.