

Р. М. РУДЫЙ, канд. техн. наук
Ивано-Франковский институт нефти и газа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕРВАЛОВ МЕЖДУ ПОВЕРКАМИ СТЕРЕОПРИБОРОВ

Стереоприборы могут иметь скрытые и устойчивые отказы по точности. Как известно, скрытый отказ по точности — это такое состояние прибора, при котором все его узлы функционируют нормально, но требуемой инструментальной точности прибор не обеспечивает. Скрытые отказы выявляют только в результате всех поверок и исследований, предусмотренных прилагаемыми к стереоприборам пособиями.

Уменьшение интервалов между поверками приводит к длительным выходам прибора из строя, т. е. к дополнительным экономическим затратам, а увеличение — к использованию неисправных стереоприборов, снижению производительности труда, выпуску бракованной продукции [2]. Таким образом, расчет и корректировка интервалов между поверками стереоприборов весьма тесно связаны с эффективностью производства [4, 5].

Система профилактических поверок стереоприборов в различных топографо-геодезических организациях неодинакова, однако с некоторыми приближениями ее можно представить следующим образом. После сборки и монтажа выполняют поверки стереоприбора, и он поступает в эксплуатацию. Через определенный интервал времени прибор снова поверяют и, если инструментальная точность прибора окажется ниже допустимой, ремонтируют, устраняя причины отказа. Если в результате поверок отказ по точности не обнаружен, то прибор эксплуатируется до следующего срока поверок. При этом выполняют только профилактический осмотр и чистку прибора, а также меняют смазку. В случае явного отказа выполняют ремонт прибора. Интервал между поверками уменьшается автоматически.

При такой системе профилактики оптимальный интервал между поверками рассчитывают с допустимой вероятностью отсутствия в течение этого интервала скрытых отказов по точности $P_{\text{доп}}$ [3]. Если в новом стереоприборе в первом интервале между поверками от t_0 до t_1 вероятность скрытого отказа по точности $P_0(t)$, то в момент t_1 можно принять две гипотезы: H_{10} и H_{11} (H_{10} — стереоприбор исправен, нет отказа по точности с вероятностью $P_0(t_1)$; H_{11} — имеется отказ по точности с вероятностью $1 - P_0(t_1)$). Используя формулу полной вероятности, вычисляют $P_1(t)$, т. е. вероятность того, что прибор будет работать без скрытого отказа по точности в момент $t > t_1$

$$P_1(t) = P(H_{10})P(t/H_{10}) + P(H_{11})P(t/H_{11}), \quad (1)$$

где $P(t/H_{10})$ — условная вероятность исправной работы в момент $t > t_1$, если в t_1 он был исправен; $P(t/H_{11})$ — условная вероятность исправной работы прибора в момент $t > t_1$, если в момент t_1 он был неисправен, однако, поскольку происходит ремонт прибора, $P(t/H_{11}) = P_0(t - t_1)$. После преобразования формула (1) принимает вид

$$P_1(t) = P_0(t) + [1 - P_0(t_2)] P_0(t - t_1). \quad (2)$$

Следовательно, после первой проверки вероятность скрытого отказа по точности выразится формулой (2). В момент t_2 также можно принять две гипотезы, аналогичные тем, которые принимались после первой проверки. Вероятность безотказной работы стереоприбора в момент $t > t_1$ снова выразится формулой полной вероятности

$$P_2(t) = P(H_{20}) P(t/H_{20}) + P(H_{21}) P(t/H_{21}), \quad (3)$$

где H_{20} — отказа по точности с вероятностью $P_1(t_2)$ нет; H_{21} — имеется отказ по точности с вероятностью $1 - P_1(t_2)$; $P(t/H_{20})$ — условная вероятность исправной работы прибора в момент $t > t_2$; если в t_2 он был исправен; $P(t/H_{21})$ — условная вероятность исправной работы прибора в момент $t > t_2$, если в t_2 он был неисправен. В результате преобразования формула (3) принимает вид

$$P_2(t) = P_2(t) + [1 - P_1(t_2)] P_0(t - t_2). \quad (4)$$

После k -й проверки вероятность безотказной работы прибора

$$P_k(t) = P_{k-1}(t) + [1 - P_{k-1}(t_k)] P_0(t - t_k). \quad (5)$$

Функцию $P(t)$ называют также функцией надежности, ее можно найти из опыта [1]. Если на испытание ставится N приборов, которые испытывают в одинаковых условиях в течение времени $t = t_k$ и к моменту t_k не отказало n , то

$$\frac{n}{N} \xrightarrow{\text{при } N \rightarrow \infty} P(t_k); \quad \frac{n}{N} \approx P(t_k). \quad (6)$$

По мнению многих исследователей, процессы, протекающие с постоянными (износowymi) отказами, описываются нормальным законом распределения [1]

$$P(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{t_1}^{\infty} \exp\left[-\frac{(t - T_0)^2}{2\sigma^2}\right] dt, \quad t_1 \leq t \leq t_2,$$

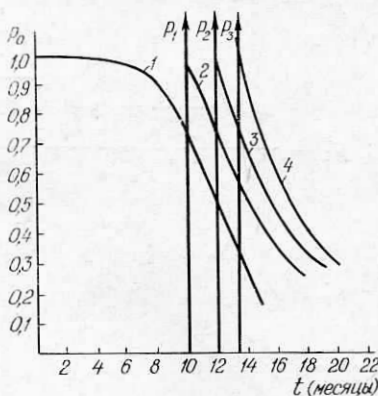
где T_0 — среднее время безотказной работы; σ — среднее квадратическое отклонение. Так как в пособии по работе на стереопроекторе сказано, что проверки прибора должны выполняться не реже одного раза в год, то в качестве примера для анализа зависимости [5] было взято $T_0 = 12$ месяцев и $\sigma = 3$ месяца. Для вычисления $P_0(t)$ использовали табулированную функцию Лапласа.

Графики функций надежности нового стереоприбора и после первой, второй и третьей поверок показаны на рис. 1. Как было отмечено, интервал между поверками выбирают по допустимой вероятности отсутствия скрытых отказов по точности $P_{\text{доп}}(t) = 0,75$.

Анализ полученных графиков показал, что при данной системе профилактики надежность стереоприбора после каждой поверки заметно падает и, следовательно, сокращается интер-

Рис. 1. Графики функции надежности:

1 — $P_0(t)$ нового стереоприбора; 2 — $P_1(t)$ первых поверок после 10 месяцев эксплуатации; 3 — $P_2(t)$ вторых поверок после 12 месяцев эксплуатации; 4 — $P_3(t)$ третьих поверок после 13,5 месяцев эксплуатации.



вал между поверками. Для повышения надежности стереоприборов непосредственно перед поверками их необходимо регулировать независимо от того имеется или отсутствует отказ по точности. Профилактический ремонт должен включать регулирование и юстировки основных узлов, наиболее часто выходящих из строя.

В топографо-геодезическом производстве интервалы между поверками не изменяют в течение длительного периода, причем для разных типов стереоприборов их часто принимают одинаковыми, что экономически себя не оправдывает. При изменении качества приборов и условий их эксплуатации в зависимости от количества приборов, в которых обнаружен отказ по точности [6], должен изменяться интервал между поверками. Вероятность надежной работы прибора p оценивают по количеству отказов по точности в N выполняемых поверках. С вероятностью β можно утверждать, что

$$|p_{\text{оп}} - p| < t_{\beta} \sqrt{\frac{p_{\text{оп}}(1 - p_{\text{оп}})}{N}}, \quad (7)$$

где $p_{\text{оп}}$ — получаемое из опыта значение частоты отказов; $t_{\beta} = \arg \Phi \left(\frac{1 + \beta}{2} \right)$; t_{β} — величина, определяющая для нормального закона распределения число среднеквадратических отклонений, откладываемых влево и вправо от центра рассеивания для того, чтобы с вероятностью β попасть в заданный участок;

$\arg \Phi$ — функция, обратная нормальной функции распределения. Обе части неравенства (7) возводят в квадрат и, приравняв их, решают относительно p . Полученные два корня и являются доверительными границами для вероятности надежной работы прибора при данном интервале между поверками

$$\left. \begin{aligned}
 p_1 &= \frac{p_{\text{он}} + \frac{1}{2} \frac{t_{\beta}^2}{N} - t_{\beta} \sqrt{\frac{p_{\text{он}}(1-p_{\text{он}})}{N} + \frac{1}{4} \frac{t_{\beta}^2}{N^2}}}{1 + \frac{t_{\beta}^2}{N}}; \\
 p_2 &= \frac{p_{\text{он}} + \frac{1}{2} \frac{t_{\beta}^2}{N} + t_{\beta} \sqrt{\frac{p_{\text{он}}(1-p_{\text{он}})}{N} + \frac{1}{4} \frac{t_{\beta}^2}{N^2}}}{1 + \frac{t_{\beta}^2}{N}}.
 \end{aligned} \right\} (8)$$

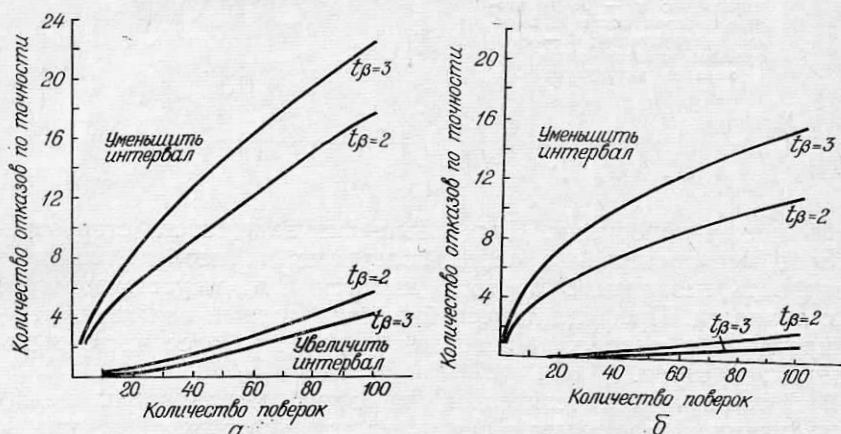


Рис. 2. Графики для определения оптимального интервала между поверками стереоприбора:

а — с допустимым количеством отказов по точности $p_{\text{он}}=10\%$; б — с допустимым количеством отказов по точности $p_{\text{он}}=5\%$.

Например, по приведенной ранее методике или из экономических соображений установлено, что в результате проверок отказ по точности может появиться в 10% приборов, т. е. $P_{\text{он}}=0,90$. При произвольно установленном интервале отказ по точности обнаружен в 2% приборов. Следовательно, интервал между поверками должен быть увеличен. При новом интервале недопустимо низкая инструментальная точность оказалась в 25% приборов, поэтому интервал должен уменьшиться. Если процент отказов по точности не сильно отличается от принятого за допустимый, т. е. лежит в доверительных границах, то выбранный интервал между поверками не изменяется. Так, методом проб и ошибок устанавливают оптимальные интервалы между поверками стереоприборов. Надежные результаты мож-

но получить только при больших N , а именно $N\rho_{оп}$ и $N(1-\rho_{оп})$ должны быть больше четырех.

На графиках (рис. 2) показаны доверительные границы для вероятности надежной работы прибора $\beta=0,997$ и $\beta=0,954$. Соответственно $t\beta=3$ и 2. Используя данную методику, можно корректировать интервалы между поверками приборов в зависимости от их износа. Предложенная методика позволяет устанавливать новые межповерочные интервалы для выпускаемых в настоящее время моделей стереоприборов, в которых значительно повышена надежность.

Список литературы: 1. Барлоу Р., Прошан Ф. Математическая теория надежности. М., Советское радио, 1969. 2. Борисов В. М., Рудой В. Г. Изучение эксплуатационной надежности приборов. — Измерительная техника, 1968, № 1. 3. Кудрицкий В. Д. Методика расчета сроков обязательной поверки измерительных приборов. — Измерительная техника, 1965, № 9. 4. Немовский А. С., Никонов В. В. Статистический метод установления межповерочных интервалов. — Измерительная техника, 1965, № 9. 5. Федоров И. М. К вопросу о периодичности ведомственного надзора за измерительными устройствами. — Измерительная техника, 1965, № 9. 6. Van de Houten I. R. When to change calibration Intervals. — Instrumentation Systems Automatic Control journal, 1963, № 7.

Работа поступила 22 марта 1978 года. Рекомендована кафедрой прикладной геодезии Ивано-Франковского института нефти и газа.