

5. УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ МАШИН. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАШИН

5.1. Понятие остаточного ресурса

Остаточным ресурсом называют наработку от момента контроля элемента машины до наступления его предельного состояния, отказа по определенному параметру. Остаточный ресурс обычно определяют по ресурсным элементам, обуславливающим проведение ремонта механизма (агрегата) машины.

Отличительная особенность остаточного ресурса заключается в том, что его определяют индивидуально по конкретному элементу на основе динамики его параметров состояния. Используя этот метод, можно в 1,5–2 раза уменьшить число отказов или увеличить фактически использованный ресурс диагностируемых элементов машин.

Остаточный ресурс определяют для различных соединений, узлов и агрегатов машин по их ресурсным параметрам – технологическим, техническим, экологическим или экономическим. Это обеспечивает более полное использование ресурса при высокой безотказности диагностируемых элементов.

Для определения остаточного ресурса элемента машины вначале устанавливают перечень ресурсных прогнозируемых параметров, а затем перечень диагностических. Выбор, например, технических параметров определяется основными элементами деталей и соединений. Для двигателя машины такими элементами служат цилиндропоршневая группа, коленчатый вал с шатунными и коренными подшипниками, газораспределительный механизм.

Для прогнозирования остаточного ресурса разработаны компьютерные программы, а также номограммы, позволяющие при наличии исходных данных оперативно определять остаточный ресурс и принимать решения по предупреждению отказов и неисправностей.

В настоящее время применяют достаточно простой метод определения остаточного ресурса, используя экстраполяционные ряды изменения параметров.

5.2. Определение исходных данных для прогнозирования остаточного ресурса элементов машин

1. Изменение параметра аппроксимируют достаточно универсальной степенной случайной функцией с показателем степени α :

- при увеличении параметра в течение наработки (например, износа соединения)

$$П_1(t) = П_H + vt^\alpha + Z(t) + DP, \quad (5.1)$$

- при уменьшении параметра по мере наработки (например, уменьшении мощности дизеля)

$$\Pi_1(t) = \Pi_{\Pi} - vt^{\alpha} + Z(t) + DP, \quad (5.2)$$

где $\Pi_1(t)$ – измеренное значение параметра;

Π_{Π} , Π_{Π} – номинальное и предельное значения параметра;

v – показатель скорости изменения параметра;

t – наработка в момент контроля параметра;

$Z(t)$ – случайная величина в момент t , принимающая как положительное, так и отрицательное значение, характеризующая фактическое отклонение параметра от плавной теоретической кривой под влиянием эксплуатационных факторов; величина $Z(t)$ подчиняется нормальному закону распределения, характеризуется средним квадратическим значением и математическим ожиданием, равным нулю;

DP – показатель, характеризующий приработку элемента, составной части и численно равный значению функции при $t = 0$.

2. Показатели динамики параметра определяют, анализируя временные статистические ряды: $\Pi_{ie}(t)$ (измеренное значение параметра) и t_{ie} (соответствующая наработка), где $i = 1, 2, \dots, n$; $e = 1, 2, \dots, m_i$; i – номер элемента (его реализации параметра); n – число элементов (реализаций); e – номер измерения элемента; m_i – число измерений i -го элемента.

Для упрощения дальнейших расчетов вместо измеренного значения параметра применяют его измеренное отклонение: $|\Pi_{ie}(t) - \Pi_{\Pi}|$, где $\Pi_{ie}(t)$ и Π_{Π} – измеренное при наработке t_{ij} и номинальное значения параметра.

Располагают $u_{ij}(t)$ в порядке возрастания наработки. Нарботку принимают от начала эксплуатации i -го элемента (i -й составной части).

3. Разбивают весь диапазон наработки, в пределах которого проводят наблюдения, на 5–8 интервалов. Для каждого интервала вычисляют средние отклонения параметра u_l и среднее значение наработки t_l ($l = 1, 2, \dots, k$, где k – число интервалов). Найденные точки соединяют отрезками и получают экспериментальную кривую среднего отклонения параметра.

4. Анализируют полученную экспериментальную кривую. В том случае, когда в первом интервале наблюдается ее резкое отклонение от нуля, точки первого интервала в дальнейшем не учитывают, так как в этом интервале отклонение параметра связано с показателем приработки элемента DP .

5. Для определения показателей динамики параметра по результатам его измерения применяют метод наименьших квадратов и устанавливают по экспериментальной кривой среднее изменение параметра с учетом приработки (рис. 5.1). Усредненную кривую выражают степенной функцией с показателем степени α . При $\alpha = 1$ имеем прямолинейную функцию, при $\alpha > 1$ – криволинейную с выпуклостью вниз, при $\alpha < 1$ – криволинейную с выпуклостью вверх. Показатель степени в основном зависит от конструкции элемента, характеризуемого параметром. Поэтому найденное значение показателя степени является одинаковым для всех реализаций рассматриваемого параметра. Их динамика будет отличаться в данном случае только показателем скорости v_i .

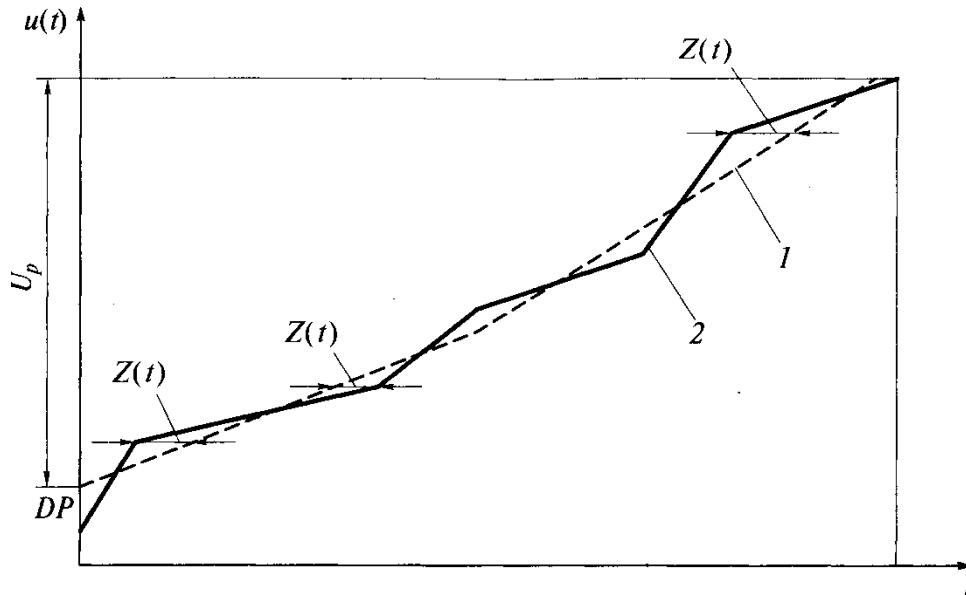


Рис. 5.1. Определение динамики изменения параметра в зависимости от наработки v .

1 – усредненная кривая $u(t) = v_0 t^\alpha + DP$; 2 – фактическая кривая;
 DP – показатель приработки; U_p – предельное отклонение параметра;
 $Z(t)$ – отклонение параметра от усредненной кривой

6. Определяют значение показателя приработки функции изменения параметра DP как точку пересечения тренда усредненной кривой с осью ординат.

7. Определяют по каждому i -му элементу, каждой реализации показатель скорости изменения параметра по формуле

$$v_{icp} = \frac{\sum_{e=1}^m \frac{u_{ie}(t) - DP}{t_{ie}^\alpha}}{m} \quad (5.3)$$

где u_{ie} – отклонение i -го параметра при наработке t_{ie} .

8. Вычисляют средний ресурс отдельного элемента

$$T_{icp} = \left[\frac{U_p}{v_{icp}} \right]^{1/\alpha} \quad (5.4)$$

где U_p – предельное отклонение параметра, $U_p = |\Pi_{\Pi} - \Pi_{\text{H}}| - DP$;

Π_{Π} , Π_{H} – его предельное и номинальное значения.

9. Устанавливают среднее квадратическое отклонение σ_Z нелинейных реализаций параметра от усредненной кривой (рис. 3.23):

$$\sigma_Z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{e=1}^m [t_{fie} - t_{uie}]^2}{\sum_{i=1}^n m_i - 1}}, \quad (5.5)$$

где t_{fie} , t_{uie} – соответственно фактическое и усредненное отклонение наработки, ч.

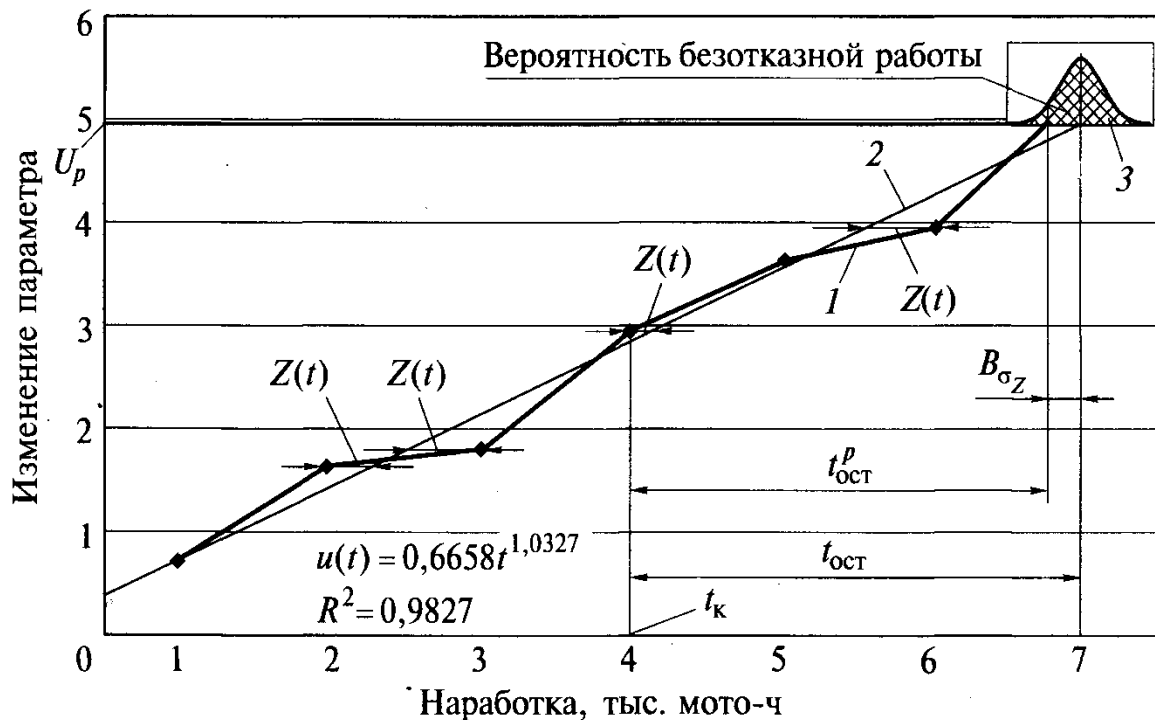


Рис. 5.2. Фактическое и усредненное изменение параметра в зависимости от наработки: 1 – фактическая кривая динамики параметра; 2 – степенная функция усредненной кривой параметра $u(t)$; 3 – распределение отклонения фактической наработки от усредненной кривой; U_p – предельное отклонение параметра; $Z(t)$ – отклонения наработки от усредненной кривой; $B_{\sigma Z}$ – произведение квантиля на среднее квадратическое отклонение; t_k – наработка до момента контроля; $t_{ост}$ – средний остаточный ресурс; $t_{ост}^p$ – остаточный ресурс при заданной доверительной вероятности

В выражении (5.5) разность в скобках в числителе характеризует отклонение наработки $Z_i(t)$ (см. рис. 5.1) m_i , по всем n реализациям за исключением их первого интервала разбиения, если $DP \neq 0$.

10. При оценке параметров измерения при одном опыте повторяют несколько раз. Среднее арифметическое \bar{s} по результатам измерений s_1, s_2, \dots, s_n параметра составит

$$\bar{s} = \frac{s_1 + s_2 + \dots + s_n}{n}, \quad (5.6)$$

где n – число измерений.

Последовательность определения показателей приведена на рис. 5.3.



Рис. 5.3. Последовательность определения исходных данных

5.3. Определение остаточного ресурса

Средний остаточный ресурс.

Как показали результаты исследований, прогнозирование остаточного ресурса элементов машин позволяет увеличить их безотказность в эксплуатации в 1,5 раза и более путем предупреждения их отказов и неисправностей.

При известной наработке t_k от начала эксплуатации соединения до момента контроля и одном измеренном значении параметра к моменту контроля остаточный ресурс определяют по формуле

$$t_{осм} = t_k \left[\left(\frac{U_p}{u(t)} \right)^{1/\alpha} - 1 \right], \quad (5.7)$$

где U_p – предельное отклонение параметра;

$u(t)$ – измеренное отклонение параметра;

α – показатель степени функции изменения параметра (табл. 5.1).

Таблица 5.1 – Показатель α степени функции изменения параметра

Диагностический параметр	Показатель α
Мощность двигателя	0,8
Расход топлива	0,9
Неравномерность топливоподачи	1,0
Угар масла	1,8
Износ плунжерных пар	1,1
Расход газов, прорывающихся в картер	1,3
Износ соединения гильза–поршень	1,3
Износ шатунных и коренных подшипников двигателя	1,1
Зазор между клапаном и коромыслом механизма газораспределения	1,1
Утопание клапанов	1,6
Зазоры в кривошипно-шатунном механизме	1,1...1,6
Износ кулачков распределительного вала	1,1
Радиальный зазор в подшипниках качения и скольжения	1,5
Износ посадочных гнезд подшипников корпусных деталей	1,0...1,5
Износ зубьев зубчатых колес по толщине	1,4
Износ валиков, пальцев и осей	1,1
Износ шлицевых соединений	1,0
Износ дисков муфт сцепления, накладок тормозов и тормозных дисков (барабанов)	1,0

Измеренное отклонение конкретного параметра

$$u_i(t) = v_i t_{ik}^\alpha; \quad (5.8)$$

$$v_i = \frac{u_i(t)}{t_{Ki}^\alpha}; \quad (5.9)$$

где v_i – показатель скорости изменения параметра, ед. параметра / ед. наработки в степени α .

При этом наиболее простом варианте принимают, что изменение параметра является гладкой степенной функцией, поэтому отклонение наработки $Z(t)$ (см. рис. 5.1) не учитывается. При $Z(t) \neq 0$, когда изменение параметра проходит по ломаной кривой, результат определения среднего остаточного ресурса является приближенным.

При $Z(t) \neq 0$ определяют остаточный ресурс с заданной вероятностью безотказной работы.

Отклонение параметра с увеличением наработки может увеличиваться: $\Pi_i(t) - \Pi_H - DP$ при возрастании параметра или $u_i(t) = \Pi_H - \Pi_i(t) - DP$ при убывании параметра. Если $\Pi_H < \Pi_P$, то параметр возрастает. В противном случае он убывает.

В данном случае величина t_{Ki} характеризует наработку до момента контроля, а величина $Z(t)$ – отклонение фактического значения параметра от теоретической кривой.

Рассмотрим пример определения остаточного ресурса при одном измерении.

Пример. Двигатель Д-260 характеризуется предельной эффективной мощностью $\Pi_{\text{П}} = 104$ кВт, номинальной – $\Pi_{\text{Н}} = 114$ кВт. Измеренная мощность оказалась $\Pi(t) = 110$ кВт. Приработка дизеля по этому параметру $DP = 2$ кВт, показатель степени динамики $\alpha = 0,8$. Измерение мощности произвели после наработки $t_K = 1000$ мото-ч. Определить остаточный ресурс двигателя.

Решение. В данном случае $\Pi_{\text{Н}} > \Pi_{\text{П}}$, поэтому параметр убывает.

Тогда $U_p = 114 - 104 - 2 = 8$ кВт; $u(t) = 114 - 110 - 2 = 2$ кВт.

По формуле (5.7) определяют

$$t_{\text{ост}} = 1000 \left[\left(\frac{8}{2} \right)^{1/0,8} - 1 \right] = 4657 \text{ мото-ч.}$$

Остаточный ресурс с заданной доверительной вероятностью (см. рис. 5.2) определяется по формуле

$$t_{\text{ост}} = t_k \left[\left(\frac{U_p}{u(t)} \right)^{1/\alpha} - 1 \right] - B\sigma_z, \quad (5.10)$$

где B – квантиль нормального распределения, характеризующий заданную вероятность безотказной работы элемента машины;

σ_z – среднее квадратическое отклонение погрешности прогнозирования, определяемое по формуле (5.5).

Вероятность безотказной работы $P(B)$ с учетом квантиля определяют по табл. 5.2 нормального распределения.

Таблица 5.2 – Зависимость вероятности безотказной работы $P(B)$ от квантиля нормального распределения

Вероятность, $P(B)$	Квантиль B	Вероятность, $P(B)$	Квантиль B	Вероятность, $P(B)$	Квантиль B	Вероятность, $P(B)$	Квантиль B
0,75	0,674	0,87	1,126	0,980	2,054	0,991	2,366
0,76	0,706	0,88	1,175	0,990	2,326	0,992	2,409
0,77	0,739	0,89	1,227	0,991	2,366	0,993	2,457
0,78	0,772	0,90	1,282	0,992	2,409	0,994	2,512
0,79	0,806	0,91	1,341	0,993	2,457	0,995	2,576
0,80	0,842	0,92	1,405	0,994	2,512	0,996	2,652
0,81	0,878	0,93	1,476	0,96	1,751	0,997	2,748
0,82	0,915	0,94	1,555	0,97	1,881	0,998	2,878
0,83	0,954	0,95	1,645	0,975	1,960	0,999	3,090
0,84	0,994	0,96	1,751	0,980	2,054	0,9995	3,291
0,85	1,036	0,97	1,881	0,990	2,326	0,9999	3,719
0,86	1,080	0,975	1,960				

Последовательность определения величины t_{ocm}^p заключается в следующем:

- принимают вероятность безотказной работы – $P(B)$;
- по табл. 5.2 устанавливают квантиль нормального распределения B ;
- при известных $U_p, u(t), DP, \sigma_z, t_K$ и α определяют t_{ocm}^p .

Рассмотрим пример определения остаточного ресурса при заданной доверительной вероятности.

Пример. Двигатель Д-260 характеризуется предельной эффективной мощностью $\Pi_{\Pi} = 104$ кВт, номинальной – $\Pi_{Н} = 114$ кВт. Измеренная мощность оказалась $\Pi(t) = 110$ кВт. Приработка дизеля по этому параметру $DP = 2$ кВт, показатель степени динамики $\alpha = 0,8$. Измерение мощности произвели после наработки $t_K = 1000$ мото-ч. Среднее квадратическое отклонение наработки составляет $\sigma_z = 150$ мото-ч.

Решение. В данном случае $\Pi_{Н} > \Pi_{\Pi}$, поэтому параметр убывает.

Тогда $U_p = 114 - 104 - 2 = 8$ кВт; $u(t) = 114 - 110 - 2 = 2$ кВт.

Принимаем $P(B) = 0,95$. Тогда по табл. 5.2 устанавливают $B = 1,645$.

По формуле (5.10) определим

$$t_{ocm} = 1000 \left[\left(\frac{8}{2} \right)^{1/0,8} - 1 \right] - 1,645 \cdot 150 = 4410 \text{ мото-ч.}$$

Оптимальный остаточный ресурс определяют из выражения

$$G = \min_{0 \leq t_{ocm}} \left\{ \frac{AQ(t_{ocm}) + C[1 - Q(t_{ocm})]}{T_{cp}} \right\}, \quad (5.11)$$

где A, C – издержки соответственно на устранение последствий отказа и предупредительную замену составной части;

$Q(t_{ocm})$ – вероятность отказа составной части за период t_{ocm} , ед. наработки;

T_{cp} – средний ресурс:

$$T_{cp} = Q(t_{ocm})t_{cp} + [1 - Q(t_{ocm})](t + (t_{ocm})). \quad (5.12)$$

Вероятность отказа определяется выражением

$$Q(t_{ocm}) = 1 - P(B), \quad (5.13)$$

где t_{cp} – средний фактически используемый ресурс элемента с учетом его отказа в прогнозируемый период и предупредительной замены в конце этого периода, ед. наработки;

$P(B)$ – табулированный интеграл вероятностей (табл. 5.2).

Определение остаточного ресурса довольно сложный процесс.

Для определения среднего остаточного ресурса составлены номограммы (рис. 5.4 и 5.5), по которым можно оценить остаточный ресурс по конкретному параметру, а также разработана одна универсальная номограмма (рис. 5.6).

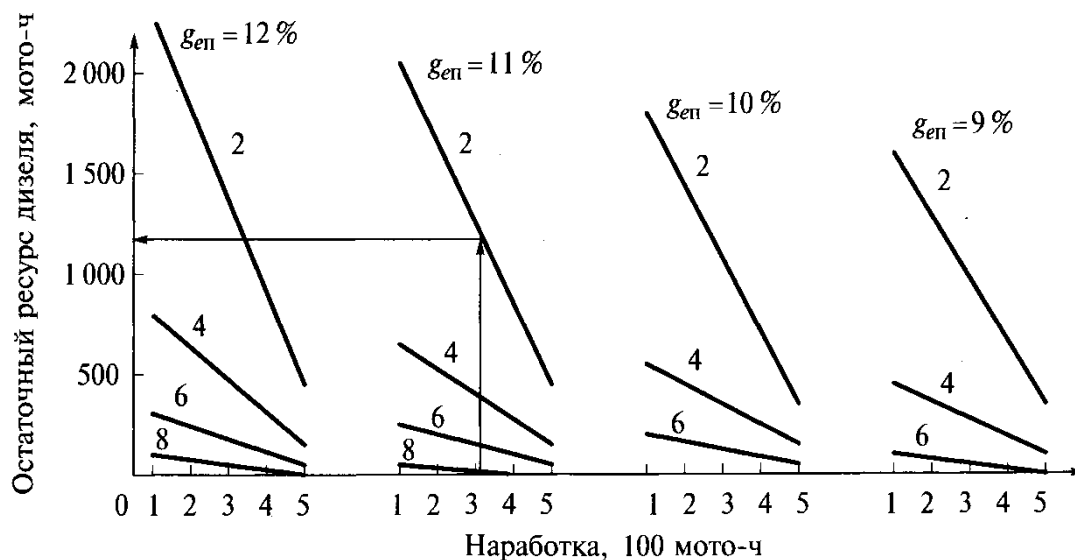


Рис. 5.4. Номограмма для определения остаточного ресурса дизеля по удельному расходу топлива g_{en}

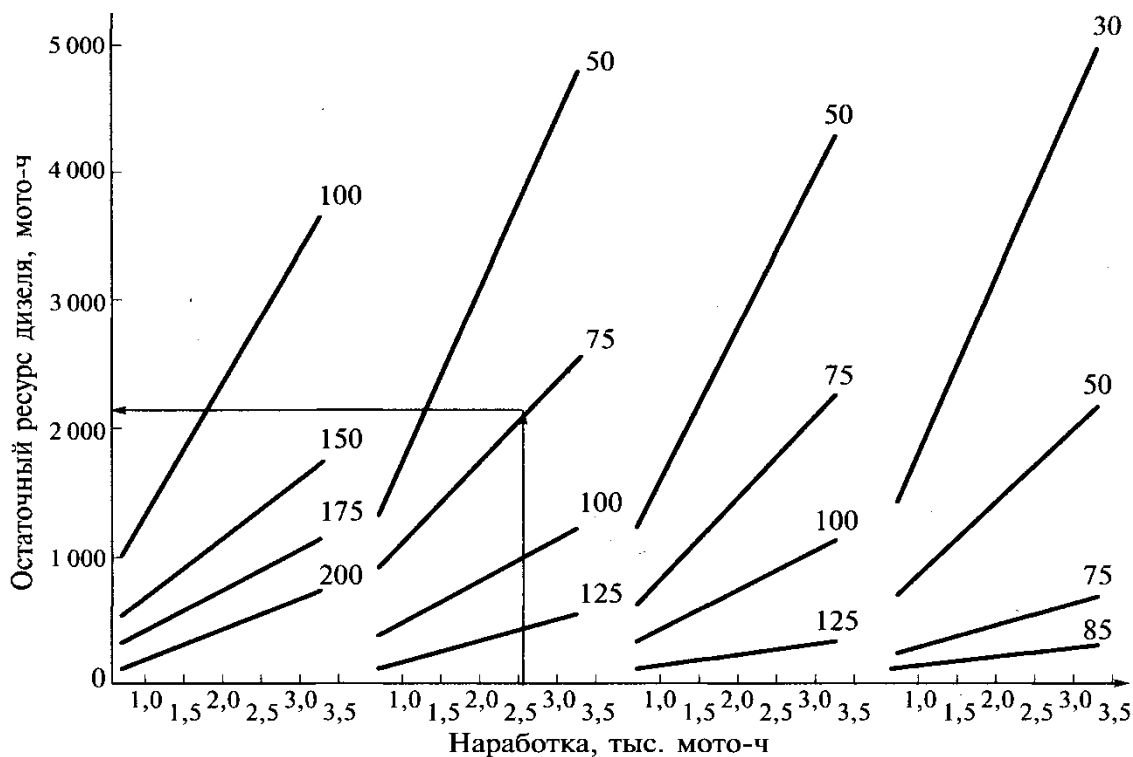


Рис. 5.5. Номограмма для определения остаточного ресурса цилиндропоршневой группы дизеля трактора по расходу газов, прорывающихся в картер

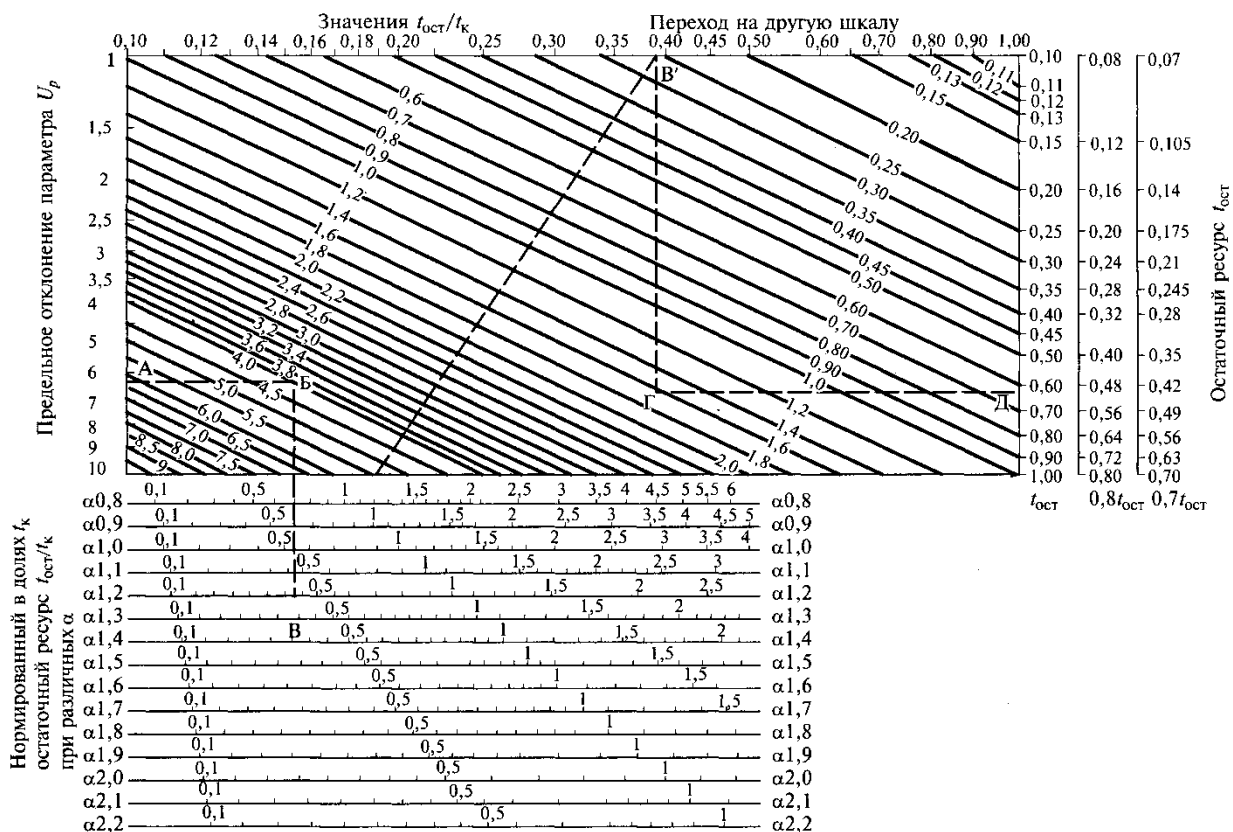


Рис. 5.6. Номограмма для прогнозирования остаточного ресурса элементов машин

На номограмме (см. рис. 5.4) рассмотрен пример прогнозирования удельного расхода топлива дизелей. Каждое семейство кривых характеризует определенную марку дизеля, удельный расход топлива, который дан в процентах к номинальному удельному расходу, устанавливаемому инструкцией по эксплуатации машины. Цифры у кривых показывают измеренный удельный расход с этой же размерностью.

При необходимости промежуточные значения параметра определяют интерполяцией. Полученное по номограмме значение остаточного ресурса сравнивают с ожидаемой наработкой машины. Если ресурс меньше ожидаемой наработки в напряженный период работы, то необходимо выявить неисправность и провести соответствующий ремонт. В противном случае ремонтные работы не выполняются.

Подобная номограмма для определения остаточного ресурса дизелей разработана по расходу газов, прорывающихся в картер (см. рис. 5.5).

Порядок пользования частной номограммой следующий:

- определяют наработку машины на момент контроля по нижней оси номограммы;
- от значения наработки проводят вертикальную линию до измеренного отклонения параметра;
- от точки пересечения ведут горизонтальную линию к левой оси номограммы и устанавливают на ней искомый остаточный ресурс.

Для пользования универсальной номограммой устанавливают исходные данные согласно табл. 5.3 и определяют остаточный ресурс по номограмме (см. рис. 5.6).

Таблица 5.3 – Наименование и обозначение исходных данных

Исходные данные	Обозначение	Источник получения данных
Значение параметра состояния в момент контроля	$\Pi(t)$	Показание диагностического прибора
Наработка машины от начала эксплуатации, когда параметр имел номинальное значение (мото-ч, кг топлива, усл. эт. га)	t_k	Показание счетчика моточасов или из технической документации
Наработка машины от предыдущего контроля параметра (мото-ч, кг топлива, усл. эт. га)	T_{ij}	
Показатель степени функции изменения параметра	α	Результаты сбора и обработки статистических данных u_{ie} и t_{ie}
Номинальное значение параметра	Π_H	Технологическая документация
Предельное значение параметра	Π_{Π}	
Значение параметра состояния при предыдущем контроле	$u(t)$	Диагностическая карта, составленная при предыдущем контроле

В верхней части номограммы вертикальную шкалу слева используют для определения предельного отклонения параметра $\Pi_{\Pi} - \Pi_H = U_p$.

Правая вертикальная шкала отражает остаточный ресурс, имеет три шкалы, характеризующие величины $t_{ост}$, $0,8t_{ост}$ и $0,7t_{ост}$.

Последнюю шкалу рекомендуется применять для особо ответственных узлов и агрегатов, ремонт которых после отказа сопряжен с большими простоями. Для менее ответственных узлов и агрегатов используют шкалу $0,8t_{ост}$, для остальных применяют шкалу $t_{ост}$.

В нижней части номограммы шкалу $t_{ост}/t_K$ применяют при заданном значении показателя степени α , значения которого приведены около шкалы. При отсчете значений следует учитывать, что по шкале они увеличиваются справа налево.

При выполнении действий по номограмме необходимо принимать одни и те же единицы измерения параметра и наработки, полностью соответствующие порядку цифр на шкалах и линиях. Например, при предельном изменении параметра $U_p = 0,2$ мм и изменении параметра к моменту контроля $u(t) = \Pi(t) - \Pi_H = 0,15$ мм необходимо на один и тот же порядок изменить два числа, приняв $U_p = 2$ ($0,2$ мм = $2 \cdot 0,1$ мм) и $u(t) = 1,5$ ($0,15$ мм = $1,5 \cdot 0,1$ мм), чтобы $U_p = 2$ можно было отметить на вертикальной левой верхней шкале номограммы, имеющей интервал значений $1 \dots 10$.

При известной наработке t от начала эксплуатации, когда параметр контролируемого элемента машины имел номинальное значение, последовательность определения остаточного ресурса $t_{ост}$ следующая: $U_p \rightarrow u(t)$ (наклонные

линии) $\rightarrow t_{\text{ост}}/t$ (шкала для заданного α) $\rightarrow t_{\text{ост}}/t$ (верхняя шкала) $\rightarrow t_K$ (наклонные линии) $\rightarrow t_{\text{ост}}$.

Последовательность определения остаточного ресурса:

- вычисляют изменение параметра к моменту контроля $u(t) = (\Pi(t) - \Pi_n)$ (берут абсолютное значение без учета знака) и предельное изменение параметра $U_p = \Pi_n - \Pi_n$;

- отмечают на шкале U_p верхней части номограммы на вертикальной шкале значение U_p (точка А) в сотых, десятых долях или десятках единиц, проводят горизонталь АБ до наклонной линии, характеризующей значение $u(t)$ в тех же единицах, затем опускают вертикаль БВ в нижнюю часть номограммы до шкалы, обозначенной заданным значением α ;

- определяют по шкале численное значение, соответствующее точке В, и переносят это значение на горизонтальную шкалу верхней части номограммы (точка В');

- от точки В' опускают вертикаль ВТ до наклонной линии, характеризующей значение наработки t в тысячах, сотнях или десятках единиц, и затем проводят горизонталь ГД до шкалы $t_{\text{ост}}$ (правые верхние вертикальные шкалы). Соответствующее точке Д значение по шкале и есть искомый остаточный ресурс в тех же единицах наработки.

Рассмотрим примеры определения остаточного ресурса.

Пример 1. Определить остаточный ресурс цилиндропоршневой группы двигателя до замены колец, если при диагностировании после наработки от начала эксплуатации $t_K = 1600$ мото-ч расход газов, прорывающихся в картер, оказался равным $\Pi(t) = 68$ л/мин; $\Pi_n = 52$ л/мин.

Решение. Предельный расход газов $\Pi_n = 90$ л/мин, номинальный расход газов $\Pi_n = 28$ л/мин. Показатель степени $\alpha = 1,3$. Вычисляем предельное изменение параметра $U_p = \Pi_n - \Pi_n = 90 - 28 = 62$ л/мин и изменение параметра к моменту диагностирования $u(t) = (\Pi(t) - \Pi_n) = 68 - 28 = 40$ л/мин.

Отмечаем на оси U_p значение $U_p = 62$ в десятках единиц (6,2; точка А). От точки А ведем горизонталь до наклонной прямой, обозначение которой соответствует $u(t) = 40$ в тех же десятках единиц (4,0; точка Б). От точки Б опускаем вертикаль в нижнюю часть номограммы до шкалы, обозначенной $\alpha = 1,3$ (точка В), и определяем отношение $t_{\text{ост}}/t_K = 0,39$.

Переносим полученное значение 0,39 на верхнюю шкалу номограммы (точка В'). От точки В' опускаем вертикаль до наклонной прямой, обозначение которой соответствует величине наработки $t = 1,6$ (в тысячах единиц, точка Г). От точки Г ведем горизонталь вправо до вертикальной оси $t_{\text{ост}}$ (точка Д). Соответствующее точке Д значение искомого остаточного ресурса $t_{\text{ост}}$ в тех же единицах наработки будет 0,63 тыс. или 630 мото-ч.

Если при определении остаточного ресурса при ТО-3 найдено, что значение $t_{\text{ост}}/t$ (точка В на номограмме) больше 1, то численное значение остаточного ресурса можно не определять, так как оно всегда будет больше наработки с начала эксплуатации t . Рассмотрим этот случай.

Пример 2. По условиям предыдущего примера определить $t_{ост}$, если $\Pi(t) = 52$ л/мин.

Решение. Находим $u(t) = 52 - 28 = 24$. По номограмме в последовательности $U_p = 62 \rightarrow u(t) \rightarrow 24$ (наклонные линии) $\rightarrow t_{ост}/t_K = 1,06$ (шкала $t_{ост}/t_K$ при $\alpha = 1,3$) находят, что $t_{ост}/t_K$ больше 1. Учитывая отношение $t_{ост}/t_K$, где $t_K > 1000$, делаем заключение, что остаточный ресурс больше 1000 мото-ч, т. е. больше наработки до следующего контроля.

В результате диагностирования машин, использования технических требований при проведении этого процесса, а также прогнозирования остаточного ресурса представляется возможным управлять их техническим состоянием. Схема управления техническим состоянием машин представлена на рис. 5.7.

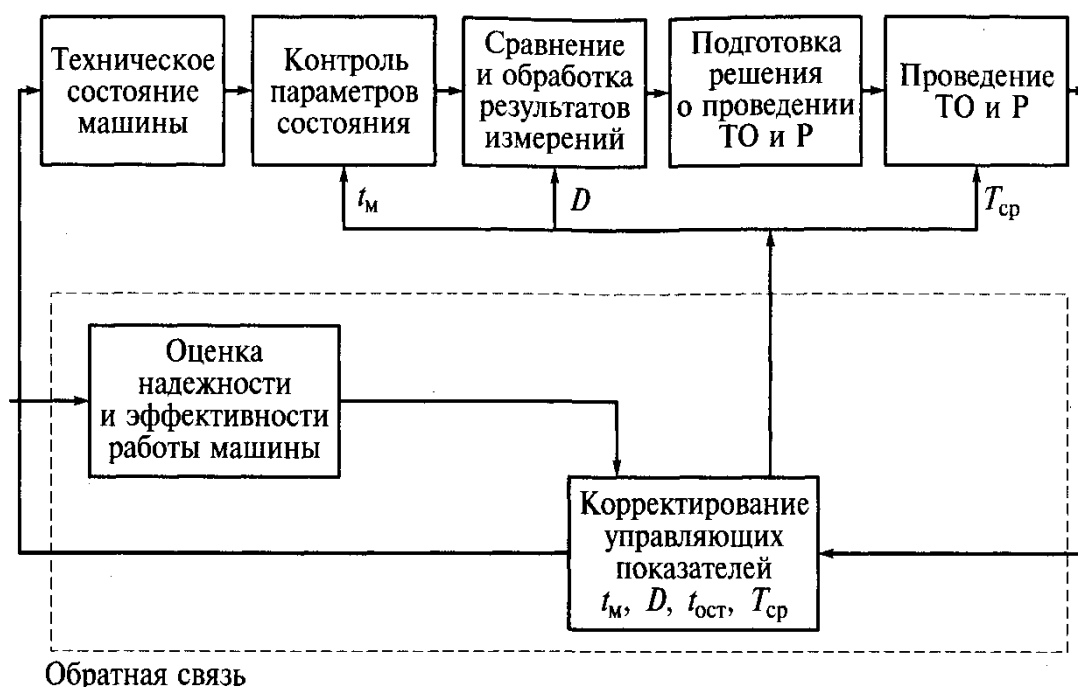


Рис. 5.7. Схема управления техническим состоянием машин:
 управляющие показатели: t_M – межконтрольная наработка;
 D – допускаемое отклонение параметра; $t_{ост}$ – остаточный ресурс;
 $T_{ср}$ – средний ресурс составной части

Метод многофакторного регрессионного анализа для прогнозирования структурного параметра машины.

В последнее время получил широкое распространение многофакторный регрессионный анализ для прогнозирования технического состояния машин по параметру, который нельзя непосредственно измерить. Для этого используют его связь с другими измеряемыми параметрами. Обычно для установления такой связи применяют пакет компьютерных программ. Достоинством этого метода является автоматизация процесса поиска отказов, значительное сокращение объема субъективных сведений.

Все исходные данные размещаются в виде матрицы, каждая строка которой содержит один результирующий искомый структурный параметр и остальные – факторные диагностические или другие структурные параметры, каче-

ственные показатели, корреляционно связанные со структурным, результирующим. Число строк характеризует число опытов.

Для составления корреляционной матрицы диагностируют определенное число агрегатов, систем машины одной марки с различным техническим состоянием (с различной наработкой). Результаты измерений диагностических параметров, микрометрирования деталей и соединений используют для составления корреляционной матрицы.

Качественные признаки оценивают баллами, например стук не проявляется – 1 балл, еле слышный – 2 балла, средний – 3, сильный – 4, очень сильный – 5 баллов.

Полученную матрицу значений параметров заносят в редактор данных. Осуществляют выбор регрессионной модели результирующего искомого параметра. После чего устанавливают многофакторную функцию искомого параметра с корреляционно связанными измеренными параметрами (качественными показателями). Для оценки получаемой многофакторной регрессионной функции применяют множественный коэффициент корреляции, который характеризует, какая доля вариации результирующего параметра обусловлена изменением факторных параметров, входящих в многофакторную регрессионную модель. Компьютерная программа выдает результаты с соответствующими таблицами, характеризующими искомую регрессионную функцию, в том числе таблицу со средними значениями параметров и их стандартными отклонениями, а также таблицу с коэффициентами регрессионной модели.

По полученным таблицам составляют уравнение регрессии результирующего параметра в аналитической форме.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение остаточного ресурса.
2. В чем заключается метод прогнозирования технического состояния машин по результатам диагностирования?
3. Какие данные используются для определения остаточного ресурса?
4. Приведите методику определения среднего остаточного ресурса.
5. Приведите методику определения остаточного ресурса с заданной доверительной вероятностью.
6. Приведите методику определения оптимального остаточного ресурса.
7. В чем заключается метод многофакторного регрессионного анализа для прогнозирования структурного параметра машины.