Тема 5. КОНТРОЛЬ ОБЪЕКТОВ АВИАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ АПРИОРНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

5.1 Виды неопределенностей диагностических моделей динамических систем (ДС)

– Структурная неопределенность возникает в тех случаях, когда не все параметры, характеризующие функционирование ДС, включаются в вектор состояния;

– параметрическая неопределенность возникает в тех случаях, когда параметры диагностической модели не соответствуют реальным процессам, протекающим в ДС;

– статистическая неопределенность возникает в тех случаях, когда законы распределений возмущений и шумов, принятые в диагностической модели, не соответствуют реальным.

Для компенсации (парирования) неопределенностей диагностических моделей ОК применяют следующие подходы:

робастные;

адаптивные;

гарантирующие;

подходы, учитывающие нечеткость описания диагностических моделей и допусков на контролируемые параметры;

комбинированные подходы.

Применительно к системам контроля на основе оценивающих фильтров реализация указанных подходов возможна с применением следующих технологий.

Робастные подходы обеспечивают нечувствительность алгоритмов контроля к малым отклонениям от априорных предположений о параметрах диагностической модели;

Адаптивные подходы предусматривают настройку параметров диагностической модели заданной структуры для обеспечения требуемой достоверности контроля.

Гарантирующие подходы ограничивают ошибки контроля в установленных пределах независимо от вида неопределенности.

Подходы, учитывающие *нечеткое описание* диагностических моделей, опираются на применение функций принадлежности, отражающие степень доверия к диагностическим параметрам и принимаемым решениям.

Комбинированные подходы.

5.2 Постановка и решение задачи оценивания параметров состояния ДС в условиях априорной неопределенности

Решение задачи основано на применении в качестве обобщенного параметра нормированной невязки, позволяющей учитывать отклонения диагностической модели ДС от реально наблюдаемого процесса.

$$\beta_i = \frac{\vartheta_i}{\sqrt{R_i}}$$

$\vartheta_i = \Delta z_i - \Delta\tilde{z}_i$ – ошибка наблюдения с дисперсией R_i

Δz_i – сигнал наблюдения контролируемого параметра в i-й момент времени t_i;

$\Delta\tilde{z}_i = H_i x_i$ – прогнозируемое значение сигнала наблюдения;

$x_i = \Phi_i x_{i-1} + \Gamma_i \xi_{i-1}$ – прогнозируемое значение вектора ошибок ОК;

Φ_i – переходная матрица для вектора ошибок ОК;

ξ_i – вектор погрешностей прогноза, имеющий переходную матрицу Γ_i ;

H_i – вектор-строка коэффициентов связи сигнала наблюдения с вектором ошибок ОК.

Наиболее правдоподобная оценка $\hat{x}_i$ вектора ошибок ОК x_i определяется по экстремуму функции плотности вероятности $f(\beta)$. Поэтому такую функцию можно рассматривать как функцию правдоподобия. По аналогии с нормальным законом распределения оптимальная оценка в общем случае может быть найдена путем минимизации натурального логарифма от функции правдоподобия

$$\rho(\beta_i) = -\ln[f(\beta_i)] \tag{5.1}$$

$$\hat{x}_i = \arg\min_{x_i}[\sum_{i=i_0}^{i_f} \rho(\beta_i)]$$

Необходимым условием минимума функции (5.1) является равенство

$$\left.\frac{\partial\rho(\beta)}{\partial\beta}\frac{\partial\beta}{\partial x}\right|_{x=\hat{x}_i} = 0 . \qquad (5.2)$$

С учетом ограничения на динамику изменения вектора состояния

$$x_i = \Phi_i x_{i-1} + \Gamma_i \xi_{i-1} \qquad (5.3)$$

или

$$\Phi_i x_{i-1} + \Gamma_i \xi_{i-1} - x_i = 0 .$$

Решением задачи является следующий алгоритм робастного оценивания вектора состояния

Прогноз: $$m_0 = \hat{x}_{i/i-1} = \Phi_i \hat{x}_{i-1/i-1}; \qquad (5.4)$$

$$M_0 = P_{i/i-1} = \Phi_i P_{i-1/i-1} \Phi_i^T + \Gamma_i Q_{i-1} \Gamma_i^T; \qquad (5.5)$$

Робастная обработка наблюдений:

$$\nu_j = \Delta z_j - H_j m_{j-1}; \qquad (5.6)$$

$$\beta_j = \nu_j / \sqrt{R_j}; \qquad (5.7)$$

$$\psi_j = \psi(\beta_j);\ \psi'_j = \psi'(\beta_j); \qquad (5.8)$$

$$\alpha_j^2 = H_j M_{j-1} H_j^T \psi'_j + R_j; \qquad (5.9)$$

$$K_j = M_{j-1} H_j^T / \alpha_j^2; \qquad (5.10)$$

$$M_j = M_{j-1} - K_j \psi'_j H_j M_{j-1}; \qquad (5.11)$$

$$m_j = m_{j-1} + K_j \psi_j \sqrt{R_j}; \quad j = \overline{1, l}; \qquad (5.12)$$

$$\hat{x}_{i/i} = m_l; \quad P_{i/i} = M_l, \qquad (5.13)$$

где M_j; $P_{i/i}$ – значения ковариационных матриц ошибок оценивания после обработки соответственно j-го элемента и всего вектора наблюдений Δz_i размерности $l \times 1$; Φ_i, Γ_i – переходные матрицы для вектора ошибок и возмущений ОК соответственно; $H_i = [H_1^T \; H_2^T \ldots H_j^T \ldots H_l^T]^T$ – матрица связи вектора наблюдений Δz_i с вектором ошибок ОК; H_j – вектор-строка коэффициентов связи j-го элемента Δz_j вектора наблюдений Δz_i с вектором ошибок x_i; R_j – дисперсия ошибки j-го наблюдения.

$$\rho'_\beta = \psi(\beta), \; \rho''_{\beta\beta} = \psi'(\beta)$$

В алгоритме (5.4) - (5.13) функция $\psi(\beta)$ и ее производная $\psi'(\beta)$ позволяют учитывать отклонение параметров диагностической модели от априорно предполагаемых при оценке состояния ОК.